

Determinación de la capacidad y evaluación financiera de una Planta de Triturado, para
abastecer de Gravas y Arena a una Planta de Concreto

Jorge Meza Vergara

Jorge Pulido Henao

Presentado (a): Katherine Palacio Salgar

Universidad del Norte

Facultad de ingeniería

Maestría en ingeniería administrativa

Barranquilla

2019

Determinación de la capacidad y evaluación financiera de una Planta de Triturado, para
abastecer de Gravas y Arena a una Planta de Concreto

Jorge Meza Vergara

Jorge Pulido Henao

Presentado (a): Katherine Palacio Salgar

Trabajo de grado para optar el título de Máster en Ingeniería Administrativa

Universidad del Norte

Facultad de ingeniería

Maestría en ingeniería administrativa

Barranquilla

2019

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por protegernos durante todo nuestro camino y darme las fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A nuestras madres porque nos enseñaron a no desfallecer ni rendirnos ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A la Ingeniera Katherine Palacio Salgar directora de este trabajo de grado, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma”.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
1.1 Introducción	17
1.2 Antecedentes de la Empresa	18
1.3 Formulación Del Problema.....	19
1.3.1 Indicador de entregas a tiempo del Proveedor Cantera No. 2	20
1.3.2 Indicador de Entregas Completas del Proveedor Cantera No. 2.....	21
1.3.3 Nivel de cumplimiento de despacho planta de concreto	22
1.3.4 Ubicación de la Cantera que será Explotada.....	23
1.3.5 Pregunta Problema	24
1.4 Justificación	25
1.5 Objetivos y Resultados Esperados	27
1.5.1 Objetivo General	27
1.5.2 Objetivos Específicos.....	27
1.5.3 Resultados Esperados	27
1.6 Metodología	28
1.6.1 Tipo de Investigación	28
1.6.2 Enfoque de la Investigación.....	28
1.6.3 Fuentes de Información	28
1.6.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de La Información	29
1.6.5 Población y muestra	29

1.6.6	Alcance y limitación de la investigación	30
1.7	Etapas Metodológicas del Proyecto	30
1.7.1	Etapa 1. Definición del problema de interés y recolección de datos relevantes ..	30
1.7.2	Etapa 2. Caracterización el Proceso de Triturado en Función de las Etapas	30
1.7.3	Etapa 3. Parametrizar el modelo	31
1.7.4	Etapa 4. Solución del modelo aplicando, por medio del Método de Resolución Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinenar	31
1.7.5	Etapa 5. Definir la rentabilidad de los hallazgos del modelo matemático	32
2.	CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL	33
2.1	Introducción	34
2.2	Marco Conceptual	35
2.3	Marco teórico	37
2.3.1	Gestión Minera.....	37
2.3.2	Operaciones Mineras	37
2.3.3	Caracterización de las Operaciones Mineras	37
2.3.4	Explotación de Canteras de Materiales de Construcción	38
2.3.4.1	Tipos de Materiales de Construcción.....	39
2.3.4.2	Clasificación de Materiales de Construcción	40
2.3.4.3	Importancia de la Explotación de los Materiales de Construcción.....	41
2.3.4.4	Capacidad Instalada de Maquinaria de Explotación de Materiales de Construcción	41
2.3.4.5	Investigación Operativa para Explotación de Materiales de Construcción....	42
2.3.4.6	Modelos matemáticos de optimización.....	42
2.3.4.7	Elementos de los modelos de optimización Matemática	43
2.3.4.8	Tipos de modelos de optimización matemática.....	44
2.3.4.9	Métodos de resolución de modelos matemáticos	44

2.3.5	Evaluación financiera	45
2.3.5.1	Análisis de costos.....	46
2.3.5.2	Análisis de rentabilidad.....	47
2.3.5.3	Análisis del Periodo de recuperación de capital	48
2.3.6	Análisis de los referentes	48
2.4	Marco Legal	49
2.4.1	Ley 20 de 1969.....	49
2.4.2	Ley 99 de 1993.....	49
2.4.3	Ley 685 de 2001.....	50
2.4.4	Decreto 4134 de 2011.....	50
2.4.5	Decreto 480 de 2014.....	50
2.4.6	Decreto 0276 de 2015.....	50
2.4.7	Decreto 1073 de 2015.....	50
2.4.8	Resolución 40391 de 2016.....	51
CAPÍTULO 3. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CAPACIDAD INSTALADA DE LA PLANTA DE TRITURADO		52
3.1	Introducción	53
3.2	Caracterización del Proceso de Trituración y Clasificación	54
3.2.1	Materiales e insumos del proceso de trituración y clasificación.....	54
3.2.2	Actividades de la planta de trituración	56
3.2.3	Resultado del proceso de trituración y clasificación	59
3.2.3.1	Proyección de la producción de la planta de trituración	60
3.2.3.2	Proyección de los requerimientos de gravas y arenas.....	60
3.2.3.3	Proyección costos de proveedores para materia prima planta de concreto	62
3.2.3.4	Proyección de costo tonelada por rendimientos de maquinaria de planta de triturado y clasificado 2020-2024.....	63

3.2.3.5	Proyección de costos de operación de la planta de triturado.....	65
3.2.3.6	Proyección de costos por operación planta de triturado	67
3.2.3.7	Proyección de costo unitario tonelada por equipos a utilizar	69
3.2.3.8	Análisis de costos por tonelada del proceso de triturado y clasificación	
	¡Error! Marcador no definido.	
3.3	Desarrollo de Modelo de Optimización de la Capacidad Instalada del Proceso de Triturado y Clasificación	72
3.3.1	Definición de función objetivo del modelo de optimización.....	73
	A continuación, se describe la ecuación principal que será optimizada y minimizada dadas las restricciones delimitadas.	73
3.3.2	Definición de variables del modelo de optimización	73
3.3.3	Parámetros y restricciones del Modelo de optimización	75
3.4	Resolución del Modelo Matemático de optimización	78
3.4.1	Modelo de optimización con base al promedio proyectado de demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2020 a 2024.....	78
3.4.2	Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2020	79
3.4.3	Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021	79
3.4.4	Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2022	80
3.4.5	Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2023	81
3.4.6	Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2024	81
3.4	Capacidad requerida por la planta de triturado determinada por el modelo de optimización.....	82

3.5	Evaluación financiera resultados del modelo de optimización.....	83
3.5.1	Análisis de rentabilidad financiera de los resultados	86
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		87
4.1	Conclusiones del modelo de optimización	88
4.2	Recomendaciones.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....		91
ANEXOS		95

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico No. 1 Materias primas de la elaboración del concreto.....	19
Gráfico No. 2 Entrega a tiempo del proveedor cantera No. 2.....	21
Gráfico No. 3 Entregas completas del proveedor cantera No. 2.....	21
Gráfico No. 4 Nivel de cumplimiento despachos	22
Gráfico No. 5 Localización de proyecto minero	24
Gráfico No. 6 Composición de la cantera.....	24
Gráfico No. 7 <i>Diagrama de flujo del proceso No. 1</i>	57
Gráfico No. 8 Pronostico de requerimientos de toneladas año de materias prima.....	61
Gráfico No. 9 Costos operación año 2.021 y números de equipos de acuerdo a la capacidad de la planta	65
Gráfico No. 10 Análisis de costo operación planta de trituración(\$/ton) año 2.021	¡Error!
Marcador no definido.	
Gráfico No. 11 Costos de inversión	72
Gráfico No. 12 Trituradora TELSMITH 38 SBS.....	82
Gráfico No. 13 Ahorro alcanzado con la planta de triturado 2021-2025	85
Gráfico No. 14 Resultado de la capacidad de la planta de triturado para los años 2021-2025, de acuerdo al modelo matemático	89

LISTA DE ANEXOS

Anexo No. 1 Cálculo de costos de operación planta de triturado y clasificacion.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo No. 2 Cálculo de costos de operación planta de triturado y clasificacion.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo No. 3 Modelo de optimización con base al promedio proyectado de demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021 a 2025	96
Anexo No. 4 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021	97
Anexo No. 5 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2022	98
Anexo No. 6 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2023	99
Anexo No. 7 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2024	100
Anexo No. 8 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2025	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Entregas a tiempo del proveedor cantera No. 2.....	20
Tabla 2 Aspectos importantes del proceso de planta de triturado y clasificado	54
Tabla 3.Maquinaría del proceso de triturado y clasificación	55
Tabla 4 . Resumen del proceso.....	56
Tabla 5. Operaciones del proceso de trituración y clasificación.....	58
Tabla 6. Material Útil para producción planta Multilatina	60
Tabla 7 . Pronóstico de sumatoria mensual de toneladas de las tres materias primas Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena gruesa requeridas por la planta de concreto	60
Tabla 8 Pronóstico IPP para los próximos 5 años	62
Tabla 9 Proyección costos por tonelada de proveedores 2021-2025	62
Tabla 10 Costos tonelada proyectados 2021-2025, con base a la cantidad de maquinaria requerida y capacidad por hora de la planta de triturado y clasificado.	64
Tabla 11 .Costo por hora de maquinaria de la planta de triturado	66
Tabla 12 . Análisis de costos total de tonelada por operación	67
Tabla 13 . Costo de inversión de equipos de acuerdo a los requerimientos en los intervalos ..	70
Tabla 14 . Tabla de niveles de inversión por intervalos de operación y pago anual de los equipos	70
Tabla 15 . Costos de inversión en función de la inversión de los equipos.	71
Tabla 16 . Variables del modelo matemático.....	73
Tabla 17 . Parámetros del Modelo Matemático	75
Tabla 18 . Función objetivo	76
Tabla 19. Restricciones del modelo matematico.....	77
Tabla 20 . Modelo de optimización pronóstico promedio (ton/año) materias primas 2021-2025	78
Tabla 21 . Resultados del modelo de optimización pronóstico (ton/año) materias año 2021 ..	79
Tabla 22 . Resultados del modelo de optimización pronóstico (ton/año) materias año 2022 ..	79
Tabla 23 . Resultados del modelo de optimización pronóstico (ton/año) materias año 2023 ..	80

Tabla 24 . Resultados del modelo de optimización pronostico (ton/año) materias año 2024 ..	81
Tabla 25 . Resultados del modelo de optimización pronostico (ton/año) materias año 2025 ..	81
Tabla 26 Costo de materiales con proveedores.....	83
Tabla 27 Costos (\$/ton) y cantidad (ton) de materiales de planta de concreto	84
Tabla 28. Análisis del ahorro proyectado	85

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación está dividido en (4) cuatro capítulos, en los cuales se diseñó y optimizó un modelo matemático para la determinación de la capacidad instalada de una planta de triturado, por medio de la programación no lineal, logrando los menores costos y las mayores cantidades de tres de las materias primas principales (Gravas $\frac{3}{4}$, gravas $\frac{3}{8}$, y arena gruesa), que mayor dependencia tienen de proveedores externos y mayor requerimiento tienen de la planta de concreto.

En el Capítulo 1, se planteó el problema a estudiar y los diferentes objetivos que se alcanzaron para lograr un eficiente modelo de optimización.

En el Capítulo 2, se describieron los aspectos conceptuales, teóricos y legales asociados a la gestión minera, materiales de construcción, investigación operativa, programación no lineal, diseño y elementos de los modelos de optimización matemáticos, los posibles resultados y métodos de resolución.

En el Capítulo 3, se estructuró y solucionó el modelo de optimización, primero se realizó la caracterización del proceso de trituración que permitió un mayor conocimiento y proyección de los elementos, recursos, maquinarias, características, entre otros requerimientos para su eficiente educación, para después con esta información, desarrollar las variables, construir las restricciones y la función objetivo con base a las cantidades proyectadas y los costos establecidos, después se continuó con la resolución por medio de la utilización del método de GRN Nonlinear, análisis de sus resultados y por último el análisis de beneficio financiero, que permitieron establecer la viabilidad de implementación.

En Capítulo 4, se exponen las conclusiones obtenidas de los análisis de los resultados y las recomendaciones para investigaciones sucesivas y profesionales que desconozcan estos métodos.

PALABRAS CLAVE: Cantera, capacidad instalada, materiales de construcción, minería, modelo de optimización, planta de trituración y clasificación.

ABSTRACT

The following research work is divided into (4) four chapters, in which it is intended to design and optimize a mathematical model for the determination of the installed capacity of a crushing plant, through non-linear programming, achieving the lowest costs and the largest quantities of three of the main raw materials (Gravels $\frac{3}{4}$, gravels $\frac{3}{8}$, and coarse sand, which have a greater dependence on external suppliers and have a greater requirement for the concrete plant.

In Chapter 1, the problem to be studied and the different objectives that must be achieved to achieve an efficient optimization model will be raised.

In Chapter 2, the conceptual, theoretical and legal aspects associated with mining management, construction materials, operational research, nonlinear programming, design and elements of mathematical optimization models, possible outcomes and resolution methods are described.

In Chapter 3, the optimization model will be structured and solved, first the characterization of the crushing process will be carried out that allows greater knowledge and projection of the elements, resources, machinery, characteristics, among other requirements for efficient education, and then With this information, develop the variables, build the restrictions and the objective function based on the projected quantities and the established costs, then the resolution will continue through the use of the Nonlinear GRN method, analysis of its results and finally the analysis of financial benefit, which allow establishing the viability of implementation.

In Chapter 4, the conclusions obtained from the analysis of the results and the recommendations for successive and professional investigations that ignore these methods will be presented.

KEY WORDS: Quarry, installed capacity, construction materials, mining, optimization model, crushing and sorting plant.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se desarrolla un modelo matemático , utilizando la herramienta solver de Excel y el método de resolución GRG Nonlinear, con el fin de brindar a la Empresa Multilatina un mecanismo para determinar la capacidad instalada requerida por una planta de trituración y clasificación de sus tres principales materias primas (Gravas $\frac{3}{4}$, gravas $\frac{3}{8}$ y arena gruesa), que garantice el cumplimiento de los parámetros de costos, comenzando por la caracterización del proceso que proyecte oportunamente cada una de las variables que intervienen en él, e igualmente la consideración de los requerimientos de eficiencia y cantidad para no generar excesos de inventario. Por otra parte, se desarrolla este modelo, utilizando técnicas matemáticas como son regresión lineal para las proyecciones de costos y cantidades que certifiquen la confiabilidad de la información y la viabilidad financiera del proyecto.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

En un entorno de alta competitividad, dependiendo de las características de la cadena de valor que define a la industria en el que se desenvuelve una organización, una estrategia puede llegar a ser la adquisición de autonomía en sus procesos de suministro de insumos o materia prima; sin embargo, para ello deben ser evaluados diversos aspectos como los tamaños óptimos de planta, la optimización de mano de obra que se requiere para ejercer los trabajos, y los flujos de caja que permitan determinar la viabilidad de tal decisión.

En virtud de lo anterior se plantea el desarrollo de un proyecto de determinación de la capacidad instalada de una planta de trituración a través de un modelo de optimización matemático especialmente para tres principales materias primas (Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G) de una planta de concreto, uno de los líderes del mercado de insumos en el sector de la construcción, en Colombia.

En el Capítulo 1. Generalidades del proyecto, se han desarrollado los subcapítulos: Antecedentes, formulación del problema, justificación, objetivos (generales y específicos), metodología, y etapas metodológicas, con los cuales se espera cumplir con los objetivos y alcances del mismo.

1.2 Antecedentes de la Empresa

La Empresa Multilatina, es una empresa colombiana muy reciente, inició su funcionamiento industrial en el segundo semestre del año 2013, debido al emprendimiento, experiencia y perseverancia de un empresario, perteneciente al legado familiar que cumple tres generaciones, vinculadas a este sector comercial, el de la construcción. Se fundamentó bajo la misión de “Ofrecer soluciones integrales para la industria de la construcción que superan las expectativas de los clientes, garantizando una adecuada rentabilidad para los accionistas, el éxito de la organización y el bienestar de los colaboradores y grupos de interés” y los pilares de calidad, tecnología, respaldo y experiencia.

En este mismo año 2013, esta empresa realizó una considerable inversión de setenta millones de dólares en una planta de producción ubicada en Colombia, la cual se especializó en la producción y comercialización de suministros como cementos y concretos, por medio del uso de la más alta tecnología, que le permite actualmente ser reconocida por su sostenibilidad y eficiencia en el sector, además de ejercer una operación amigable con el ambiente, en cuanto a su consumo de energía. Asimismo, esta empresa es pionera en la construcción del primer domo de almacenamiento de materias primas en el país, el cual le permite el mantenimiento de altos estándares de abastecimiento, calidad de materia prima y producto terminado.

Debido a lo anterior, ha logrado conseguir una participación importante en el mercado, convirtiéndose en una de las representantes con más reconocimiento, y logrando la negociación de proveer suministro de concreto al consorcio de la empresa española Sacys para la ejecución del nuevo puente Pumarejo sobre el río Magdalena, obra que tiene un valor de seiscientos veinticinco millones y estará categorizada como uno de las icónicas de la infraestructura del país.

Actualmente la empresa cuenta con trescientos setenta y un empleados y en sus últimos resultados financieros, reportó un aumento de ingresos netos del 8,2% en el 2018, y un activo total que registró crecimiento negativo del 3,21%, su margen neto tuvo un descenso del 3,87% en el 2018.

1.3 Formulación Del Problema

La empresa multilatina del sector de suministros de construcción, especialista en producir y comercializar con presencia en Colombia con su planta de concreto, fundamenta su actividad estratégica en el desarrollo de un proceso operativo de producción totalmente especificado, que es el de producción de concreto, asimismo este se apoya con métodos estratégicos y de evaluación, con los cuales se elaboran estudios que permiten garantizar el éxito de la producción y por ende de cumplir con los requerimientos y estándares de seguridad, calidad y manufactura. Es así, que, con relación a lo expuesto, uno de los procesos de apoyo es identificado como gestión de Minería, el cual tiene como propósito responder al abastecimiento de materias primas para la producción de concreto. La materia prima anteriormente comentada, que es solicitada por la planta para realizar su proceso productivo se estructura de la siguiente manera:

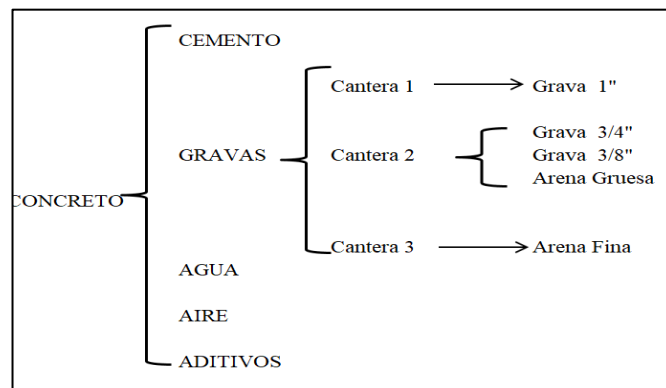


Gráfico No. 1 Materias primas de la elaboración del concreto

De tal forma, como el gráfico nos muestra existen cinco materiales que son necesarios para la elaboración del concreto, el cemento que es traído de la sede internacional, las gravas y arenas que son abastecidos por tres canteras de proveedores diferentes (No. 1, que produce Grava 1", la No. 2 que produce Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa, y la No. 3 que produce Arena fina), el agua, aire y aditivos. Sin embargo, con base a los resultados de productividad de los últimos cinco años, se ha podido identificar que existe una dificultad directamente relacionada con el abastecimiento de materias primas gracias a la información brindada por el sistema de información de los reportes realizados al momento de recibir los pedidos de los proveedores, especialmente las provenientes de la cantera No. 2 (Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa) debido a irregularidades del clima, precios a negociar, cambios de normatividad, problemas de transporte, insuficiente

capacidad de producción, entre otros (Confrontado por el indicador entregas a tiempo, y completas) y ha permitido demostrar que la empresa se encuentra completamente dependiente de este proveedor para poder cumplir con sus pedidos de producción, afectando sus indicadores de nivel de cumplimiento de despacho.

1.3.1 Indicador de entregas a tiempo del Proveedor Cantera No. 2

El indicador de entrega permite informar que desde el año 2014, ha sucedido un descenso en el nivel de entregas a tiempo del proveedor cantera No.2, paso del 83,2% al 80,8%, lo que significa una disminución del 2,4%. Además, este resultado nos demuestra que existe un 19,2% de pedidos que son generados a estos proveedores y no son entregados en los términos establecidos, asociándose que es el mismo porcentaje de situaciones que el proceso de producción de concreto, ha tenido que retrasarse por estar a la espera de estos materiales, también es importante recalcar que aunque en el año 2014, se encontraba un mayor porcentaje de cumplimiento el 83,2%, las expectativas por parte de la empresa, es que este fuera lo más cercano a 100% para no presentar los problemas de abastecimiento que esto representa.

Tabla 1 Entregas a tiempo del proveedor cantera No. 2

Año	Pedidos		Valor indicador
	entregados a tiempo	Total pedidos entregados	
2014	51884	62378	83,18%
2015	73342	89863	81,62%
2016	80011	98125	81,54%
2017	76224	93607	81,43%
2018	73278	90673	80,82%

En la Tabla No. 1, en el año 2014 de 62378 pedidos entregados solo 51884 pedidos fueron entregados a tiempo un 83,18%, en el 2015 de 89863 pedidos entregados solo 73342 pedidos entregados a tiempo un 81,62%, en el 2016, de total de pedidos entregados 98125 solo 80011 pedidos entregados a tiempo un 81,54%.

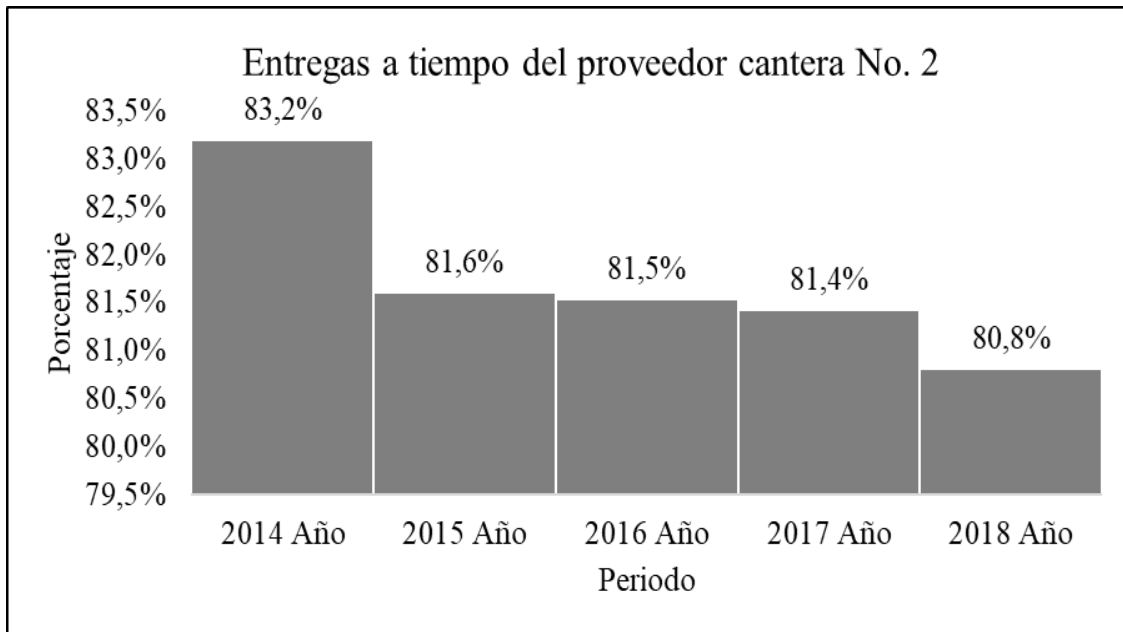


Gráfico No. 2 Entrega a tiempo del proveedor cantera No. 2

El Gráfico No.2, permite comprender que en el año 2014 el nivel de entregas a tiempo del proveedor cantera No.2, fue del 83,2%, y en comparación con el año 2018, bajo a 80,8% después de cuatro años este indicador ha tenido un comportamiento descendente del 2,6%.

1.3.2 Indicador de Entregas Completas del Proveedor Cantera No. 2

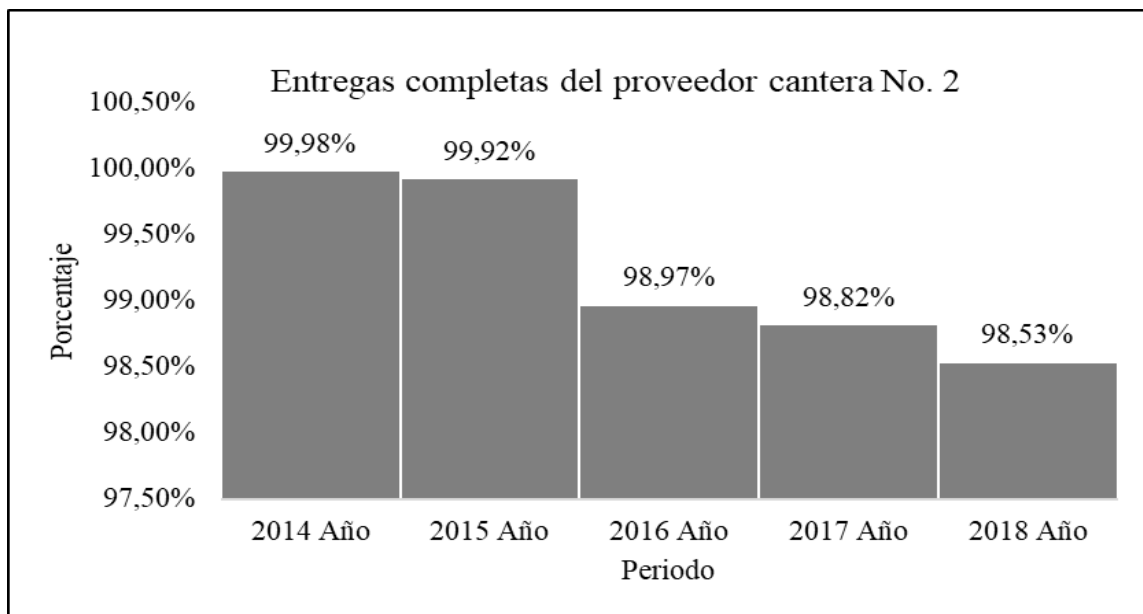


Gráfico No. 3 Entregas completas del proveedor cantera No. 2

En el gráfico número 3, se evidencia que esto permite comprender con base a sus resultados que además de tener un alto nivel de pedidos no entregados a tiempo del 19,2% también se puede demostrar que este proveedor no tiene la capacidad de producción necesaria para abastecer completamente todos los pedidos que se realizan y segundo que existe un nivel de entrega de pedidos incompletos del 1,47% es decir que, de los 90,673 pedidos realizados, sólo 89,343 pedidos fueron entregados completos, un total de 1330 pedidos del año 2018 que no cumplieron con los requerimientos de materiales de esta cantera No.2 (Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa) que eran necesarios para cumplir con las órdenes de pedido de los clientes y los tiempos de entrega.

1.3.3 Nivel de cumplimiento de despacho planta de concreto

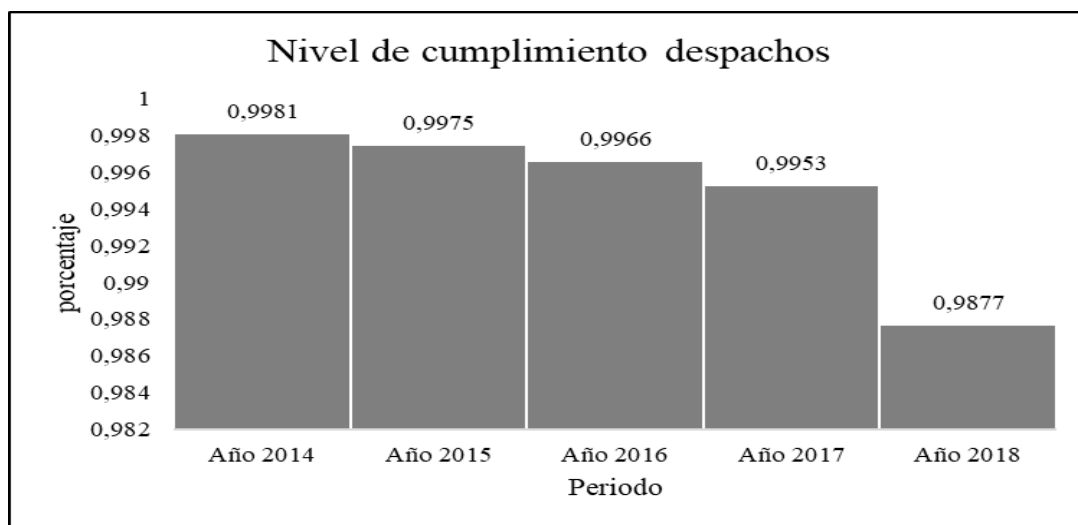


Gráfico No. 4 Nivel de cumplimiento despachos

En el nivel de cumplimiento se evidencia que, ha sucedido un descenso en el nivel de cumplimiento de despacho de la planta de concreto hasta el porcentaje que se encuentra actualmente según el último reporte realizado que es 98,77% una diferencia del 1,04%. Aproximadamente el mismo tiempo, que se han venido presentando las dificultades con el proveedor de la cantera No.2 según el reporte que brindó el sistema de información, es decir que estas situaciones que afectan el ingreso de esas materias primas principales que son Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa están afectando la efectividad de los despachos de concreto a los clientes en cuanto a los pedidos enviados durante el periodo determinado que es anual, aspecto sumamente

importante porque se puede ver afectada la imagen de la empresa, por no cumplir con los contratos y tiempos establecidos de entrega de los productos.

Por otra parte, esto representa una desventaja competitiva y de participación y reconocimiento en el mercado, porque competidores directos del mercado como Argos, actualmente cuentan con su propia cantera para la explotación minera de estas materias primas (Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa), situación que les han permitido mejorar su disponibilidad de abastecimiento, y asimismo aumentar la rentabilidad financiera, debido a que la cantidad es diferente cuando se compran los materiales a proveedores externos con los precios que estos establezcan, que los costos totales de explotarlos directamente.

Es importante explicar que posiblemente ninguna empresa dedicada a este sector de producción y comercialización de suministros de construcción, pueda tener o desee el dominio total de las canteras necesarias para la adquisición de todas sus materias primas, sin embargo, es fundamental que pueda garantizar su independencia ante los proveedores externos en un porcentaje considerable, especialmente en estos tres materiales que tienen alta demanda e insuficiente oferta.

Otro aspecto que es importante, es que actualmente la empresa si cuenta con estas áreas de explotación minera para eliminar esa desventaja competitiva frente a sus competidores principales y eliminar esa dependencia absoluta, sin embargo, se encuentra desaprovechando esta oportunidad por falta de estudios investigativos.

Se establece como conclusión que la necesidad es determinar la capacidad instalada de la planta de triturado que se encuentra disponible y con su puesta en marcha, se logre disminuir el porcentaje de dependencia con los proveedores externos de tres de sus materias primas principales Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G para el proceso productivo de la planta de concreto Multilatina en el municipio de Galapa

1.3.4 Ubicación de la Cantera que será Explotada

La cantera se encuentra ubicada en el departamento de Bolívar en el corregimiento de Arroyo Grande en jurisdicción del distrito de Cartagena, a 107 km de la ciudad de Barranquilla sobre la vía al mar que comunica las ciudades de Cartagena y Barranquilla; esta cantera contiene gravas y arenas las cuales son de interés minero, pues son de uso representativo como materiales de construcción.

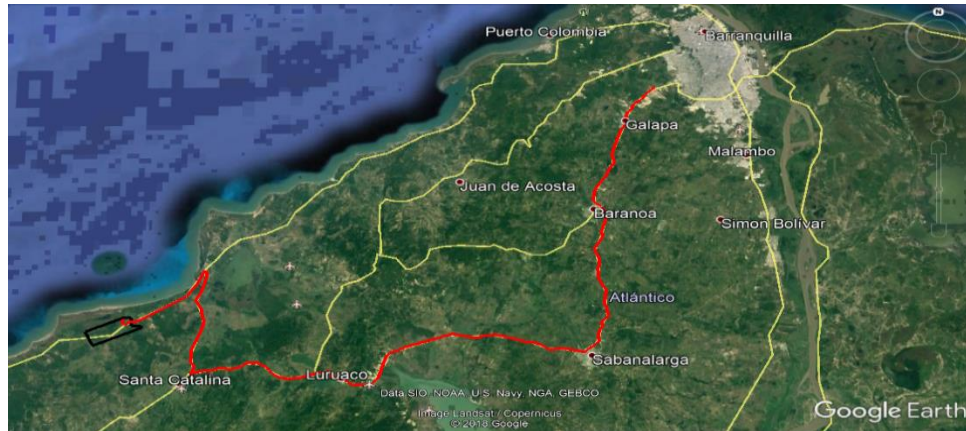


Gráfico No. 5 Localización de proyecto minero

El área de la cantera tiene una extensión de 885 hectáreas y cuenta con los permisos mineros y ambientales exigidos por la legislación colombiana para explotación de recursos minerales no renovables a cielo abierto. La cantera está compuesta principalmente por gravas dispuestas en gruesos estratos horizontales, las cuales se encuentran intercaladas en sus estratos con areniscas y delgados estratos de lodolitas y arcillolitas.



Gráfico No. 6 Composición de la cantera

Los resultados de exploración mediante trincheras realizadas a lo largo y ancho del área a explotar en las áreas denominadas Pit 1 y Pit 2, reportan recursos mineros por 30.287.587 de toneladas

1.3.5 Pregunta Problema

¿Cómo determinar la capacidad instalada de la planta de triturado y disminuir el porcentaje de dependencia con los proveedores externos de las materias primas Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G de una planta de concreto?

1.4 Justificación

El suministro o abastecimiento es el conjunto de actividades que permite identificar y adquirir los bienes y servicios que una organización requiere para su funcionamiento adecuado y eficiente, ya sea de fuentes internas o externas. Las materias primas son el pilar en el proceso de transformación de un producto, tal como sucede en la empresa objeto de estudio, que forma parte del sector de suministros de construcción, y se especializa en producir y comercializar cementos y concretos, pero que en su planta ubicada en el, departamento del Atlántico se encuentra especializada en concreto, para lo cual la compañía requiere de apoyarse con métodos estratégicos y de evaluación, con los cuales se elaboran estudios, que permiten garantizar el éxito de la producción de este proceso y por ende de cumplir con los requerimientos y estándares de seguridad, calidad y manufactura.

Es así, que, con relación a lo expuesto, uno de los procesos de apoyo es identificado como gestión de Minería, el cual tiene como propósito responder al abastecimiento de materias primas para el proceso operativo de producción de concreto, sin embargo, actualmente están presentando problemas directamente relacionado a los reportes realizados al momento de recibir los pedidos de los proveedores por llegar retardados o incompletos, especialmente los de la cantera No. 2, que son los encargados de tres materiales Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa, justificándose por irregularidades en el clima, precios a negociar, cambios de normatividad, problemas de transporte, falta de capacidad, agotamiento de los recursos, entre otros, por lo que si no se actúa de inmediato, pueden traer posibles consecuencias como cancelación de contratos, demandas por altas sumas de dinero de clientes molestos por incumplimiento de términos pactados, pérdida de reputación e imagen ante sus clientes por demoras en los pedidos, pérdida de competitividad, disminución de participación en el mercado, y lo más significativo aumento de costos de operación, porque al momento de no contar con el material en el momento indicado el encargado del proceso se ve obligado a tomar otras alternativas que por lo general son las que mayor costo tienen y afectan directamente la rentabilidad de la planta de concreto y puede ocasionar que la misma no logre llegar a su punto de equilibrio.

Con el desarrollo de este proyecto se busca que la planta de concreto, logre que la planta de triturado, ayude al proceso de abastecimiento de tres materias primas Grava $\frac{3}{4}$, grava $\frac{3}{8}$, y arena gruesa, especialmente el que mayor porcentaje representa para el proceso productivo que es Grava $\frac{3}{8}$, que presenta alta demanda y poca oferta lo que hace que sus costos sean altos y variables, y porque las otras dos pueden completarse con mayor facilidad. Además, al encontrar la capacidad utilizada de la planta que se necesita se puede establecer correctamente el máximo aprovechamiento de las áreas de explotación que la empresa adquirió anteriormente y que no se encuentran en funcionamiento, y no ha tenido un retorno de la inversión. Asimismo, y como aspecto más interesante, aumentará la competitividad de la empresa, al contar con su propia cantera, y no depender completamente de proveedores externos, ofrecerían un valor agregado al reflejar una imagen atractiva internamente y externamente demostrándole a sus clientes actuales y potenciales que poseen la calidad, eficiencia y capacidad para satisfacer sus necesidades y expectativas por medio de sus procesos y productos.

1.5 Objetivos y Resultados Esperados

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un modelo matemático para la determinación de la capacidad instalada de una planta de triturado y analizar la viabilidad financiera

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar el proceso de triturado en función de las etapas para identificar las variables y parámetros para el modelo matemático
- Definir la función objetivo, y las restricciones de la planta de triturado para alimentar la construcción del modelo matemático
- Optimizar el modelo matemático para garantizar el cumplimiento de la función objetivo y las restricciones de la planta de triturado establecidos.
- Determinar las variables financieras que se requieren para hacer el análisis de la viabilidad..

1.5.3 Resultados Esperados

Con este proyecto se pretende determinar la capacidad instalada de una planta de trituración de las materias primas (Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G) requeridas para el proceso productivo de la planta de concreto en el departamento del Atlántico, para disminuir la dependencia con los proveedores externos, por medio del diseño y optimización de un modelo matemático.

1.6 Metodología

A continuación, se describe la estructura que será utilizada para el correcto desarrollo de este proyecto de investigación con la finalidad de obtener soluciones a la pregunta de investigación planteada y además de minimizar y controlar el error experimental.

1.6.1 Tipo de Investigación

El tipo de estudio que se utilizará en la presente investigación, será, el estudio descriptivo, ya que sirve para analizar detalladamente los aspectos que hacen parte del trabajo final, esto con el fin de establecer las variables, restricciones, modelos de optimización, función objetivo, capacidad de producción e individual de maquinaria, optimización de mano de obra, la construcción del flujo de caja, todo esto para darle solución a la problemática planteada. Según Samperio, (1998, p.15) dice que la investigación descriptiva, aquella que detalla situaciones y eventos, es decir como es y cómo se manifiesta un determinado fenómeno y busca especificar propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis.

1.6.2 Enfoque de la Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo: “Una estructura organizada para recopilar y analizar datos adquiridos de distintas fuentes, implicando el uso de herramientas estadísticas y matemáticas para obtener resultado, logrando el propósito principal de cuantificar el problema y entender su generalización mediante la búsqueda de resultados proyectados a poblaciones mayores” (López Noguero, 2009, pág. 39).

1.6.3 Fuentes de Información

Este proyecto se fundamenta con base a fuentes secundarias, relacionadas con los documentos, registros, archivos y carpetas de la empresa, especialmente a su planta de concreto triturado en Colombia, en el departamento del Atlántico que permitirán la información necesaria para la aplicación de estadísticas, elaboración de tablas y gráficas, e interpretación de resultados que den soporte a la investigación , también servirán de apoyo los libros, proyectos de grado y artículos

de bases de datos especializadas que se encuentra orientados a la temática y la asesoría de profesionales especializados en la ejecución de modelos de optimización matemática y determinación del tamaño óptimo de una planta.

1.6.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de La Información

La técnica de recolección de información que se utiliza en este proyecto es la de análisis de contenido. Se suele llamar análisis de contenido al conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que proceden de procesos singulares de comunicación previamente registrados, y que, basados en técnicas de medida, a veces cuantitativas (estadísticas basadas en el recuento de unidades), a veces cualitativas (lógicas basadas en la combinación de categorías) tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre las condiciones que puedan darse para su empleo posterior (Raigada, 2002).

El instrumento para la recolección de información, son las fichas documentales o ficha de análisis, es semejante a un cuestionario de encuesta; si concluida la aplicación de una encuesta, hay tantos cuestionarios rellenos como encuestados hayan respondido a las preguntas que contiene, al concluir el registro de datos en análisis de contenido, habrá tantas fichas de análisis rellenas como unidades se hayan encontrado en la segmentación del *corpus*. La diferencia está en que antes de aplicar una encuesta, ya se sabe previamente cuántos cuestionarios se necesitan: tantos como individuos, grupos familiares, etc., se hayan seleccionado como muestra representativa del universo a estudiar (Raigada, 2002).

1.6.5 Población y muestra

La población objeto de estudio de esta conformada por la unidad de plantas, patios y canteras propias de la empresa, en Panamá, Colombia, Honduras y Guatemala. La muestra está determinada por la planta en Colombia, departamento del Atlántico. Encargada de producir y despachar todo el volumen de ventas a nivel nacional.

1.6.6 Alcance y limitación de la investigación

El alcance del proyecto estará regido a determinar la capacidad instalada de una planta de trituración, esto se realizará a través un modelo de optimización matemático que tendrá en cuenta las restricciones correspondientes a las cantidades requeridas para cada una de las tres principales materias primas (Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G) del proceso productivo de la planta de concreto. Con relación a lo anterior se considera como limitación que se demanda la recolección y análisis de información con valor que le de soporte al desarrollo de la investigación, sin embargo, se puede establecer que, al momento de realizar este proceso, se puede ver limitado por las posibles restricciones de confidencialidad relacionado con los temas de gestión administrativa y contable.

1.7 Etapas Metodológicas del Proyecto

1.7.1 Etapa 1. Definición del problema de interés y recolección de datos relevantes

En esta etapa se realiza el estudio de las necesidades actuales de la empresa, se recolectan los datos principales del problema, los datos que permitan su comprensión y los que aporten a la formulación correcta del mismo, se definen los objetivos tanto general como específicos, los resultados esperados, y los alcances y limitaciones que pudieran presentarse por la ejecución de esta investigación.

1.7.2 Etapa 2. Caracterización el Proceso de Triturado en Función de las Etapas

En esta etapa se realizará una descripción detallada del proceso de triturado en el cual se incluirán: 1) *las actividades* que son los elementos esenciales que lo conforman; 2) *las entradas* una o más actividades que pueden requerir un elemento para dar inicio a una actividad o proceso; 3) *Salidas* que son los elementos transformados resultantes; 4) *Cliente* quien recibe el elemento resultante; 5) *Recursos*, elementos con los que se llevan a cabo las actividades; 6) *Proveedores*, quienes suministran los elementos necesarios para la realización; 7) *Líder*, encargado o responsable; 8) *Objetivo*, lo que se espera lograr por medio de la realización del proceso; 9) *Alcance*: inicio y delimitación hasta dónde va el proceso. 10) *Documentos*: información con medio de soporte relacionada al proceso; y 11) *el diagrama de proceso o flujograma* que permita

representar gráficamente el proceso, a través de una serie de pasos estructurados y vinculados que permiten su revisión como un todo.

1.7.3 Etapa 3. Parametrizar el modelo

En esta etapa se adaptará el modelo de acuerdo con las limitaciones y alcances de la etapa anterior y parametrizar, para esto se realizarán las siguientes acciones:

- 1) *La determinación de la celda objetivo*, en la que se encuentra la función objetivo del problema en cuestión que sea desea minimizar.
- 2) *La definición de las restricciones*, referentes a las compras y los porcentajes máximos de producción por cada uno de los materiales para que la cantera no produzca excedentes.
- 3) *La construcción de la tabla “cambiando las celdas”*, que tendrá las variables (cantidades finales y costos) que serán encontrados por medio de la resolución del modelo, y permitirán encontrar la capacidad óptima de la trituradora y su máxima producción de toneladas año requerida.

1.7.4 Etapa 4. Solución del modelo aplicando, por medio del Método de Resolución Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinenar

En esta etapa se realizará la solución del modelo matemático por medio del método de resolución GRG Nonlinenar, para lo cual se requiere con anterioridad haber planteado y diseñado correctamente el problema en la hoja de cálculo, para luego acceder a la configuración del Solver, ubicada en la herramienta de análisis de datos de Excel y continuar con los siguientes pasos:

- 1) *Selección de la función objetivo*, que corresponde a la celda que tiene la fórmula o función a optimizar y minimizar, si la casilla de valores está seleccionada, Solver tratara de hallar un valor de la celda igual al valor del campo que se encuentra a la derecha de la selección.
- 2) *Selección de las variables de decisión para el problema*, lo que corresponde al cuadro de “diálogo cambiando las celdas”, en el que concretamente se define un nombre o una referencia para cada rango de la celda variable de decisión. Se deben separar con un punto y coma, las referencias no adyacentes. Las celdas de variables pueden estar directa o

indirectamente relacionadas con la celda objetivo y pueden especificarse un máximo de 200 celdas.

- 3) *Configuración de las restricciones*: en relación a las restricciones establecidas en la parametrización, estas son agregadas según su referencia de celda, y su signo (\leq , \geq , $=$, int, donde int se refiere a número entero o bien a binario), asimismo se establece que sean convertidas las variables sin restricciones en no negativas.
- 4) *Posibles resultados de Solver*: Con base a las características del modelo diseñado se pueden obtener alguno de los siguientes resultados: 1) Solución óptima: Solver señala que se encuentra una solución y da la posibilidad de seleccionar alguno de los tres informes (respuestas, sensibilidad y límites), 2) Solución no acotada: solver identifica que los valores no convergen (no están acotados), no permiten seleccionar ningún informe, 3) No existe solución factible: solver no encuentra una solución válida (factible) y tampoco permite seleccionar ningún informe. Se espera que para este modelo se encuentre una solución óptima.
- 5) *Determinar la capacidad de la trituradora*: Se procede a determinar la capacidad más óptima de la planta de los siguientes cinco años en relación con el pronóstico promedio de toneladas requeridas, para así establecer el porcentaje y la media entre la cual debe encontrarse, para minimizar los costos de las gravas y arenas para la planta de concreto.

1.7.5 Etapa 5. Definir la rentabilidad de los hallazgos del modelo matemático

En esta etapa se definirá la rentabilidad de los hallazgos del modelo matemático para determinar la capacidad instalada de una planta de trituración de la empresa Multilatina en el municipio de Galapa y establecer su viabilidad financiera, es decir satisfacer los requisitos funcionales a corto, mediano y largo plazo.

CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Introducción

En relación con lo expuesto en el Capítulo 1. Generalidades del proyecto, donde se establece que el principal propósito la determinación de la capacidad instalada de una planta de trituración por medio de un modelo de optimización matemático especialmente para tres materias primas ((Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G), de la planta de concreto MULTILATINA, uno de los líderes del mercado de insumos en el sector de la construcción en el municipio de Galapa, con el objetivo de disminuir la dependencia con proveedores externos y el aprovechamiento de áreas de explotación minera adquiridas con anterioridad por la compañía, es indispensable que se construya la fundamentación conceptual, teórica, y legal con apoyo de fuentes de información especializada que permita el óptimo direccionamiento del enfoque de esta investigación y asimismo brindar los conocimientos necesarios para dar solución a la pregunta problema planteada con anterioridad.

En el presente Capítulo 2. Marco referencial, está constituido por los subcapítulos: 1) *Marco conceptual*, que enuncia los conceptos que requieren descripción previa; 2) *Marco teórico*, que enuncia todas las bases sobre modelos matemáticos de optimización, métodos de resolución de modelos, u otra información relevante al proyecto, y 3) *Marco legal*, que constituye los decretos, normas y reglamentos que forman las leyes que rigen el estado colombiano y que se ajustan a la problemática definida y a su solución.

2.2 Marco Conceptual

A continuación, se describen los conceptos más importantes para el desarrollo de este proyecto, porque permiten la contextualización de la temática y la comprensión de la misma.

Abastecimiento: Se entiende como abastecimiento al conjunto de actividades o procedimientos (proceso) que permiten la identificación y adquisición de bienes que una empresa requiere para su óptima operación, los cuales pueden ser de fuentes internas o externas.

Autoridad minera: La autoridad minera es el Ministerio de Minas y Energía, que, como autoridad nacional, se encarga de “la administración de los recursos mineros, la promoción de los aspectos con la industria minera, recaudo y contraprestaciones económicas; por medio de funciones de titulación, registro, asistencia técnica, fomento, fiscalización y vigilancia de las obligaciones emanadas de los títulos y solicitudes de áreas mineras” (Suin Juriscol, 2011, pág. 4).

Cantera: Las canteras son entendidas como “Un sistema de explotación a cielo abierto a partir del cual se obtienen materiales empleados en la construcción, tal como rocas y minerales no disgregados” (Ministerio de Minas y Energía, 2018, pág. 34).

Construcción y montaje: Se trata de los procesos relacionados con los la preliminares y establecimiento de obras, servicios, equipos y maquinaria fija, en los terrenos elegidos para la explotación, con el fin de hacer posible el inicio y captación de los minerales, para su posterior recolección, transferencia y disposición para su utilización (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Contrato de concesión: Consiste en los contratos administrativos a partir de los cuales el Estado proporciona a un particular, la autoridad para: ejecutar, por cuenta y riesgos de éste, las operaciones requeridas para la explotación de los minerales en un terreno especificado, y de acuerdo: “A los lineamientos establecidos por la legislación vigente, reuniendo aspectos como las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales, y el cierre o abandono de los trabajos y obras correspondientes” (Ministerio de Minas y Energía, Pág. 54 2015).

Explotación: Consiste en “El proceso de extracción y procesamiento de minerales, con interés económico, a través del empleo de un conjunto de técnicas y normas de orden geológico, minero y ambiental, para su transformación y comercialización” (Ministerio de Minas y Energía, 2015, Pág. 12.). La explotación reúne actividades unitarias que buscan asegurar la operación y producción, en torno al arranque, cargue y transporte del material explotado.

Inversión: La inversión se define como la ubicación de Recursos financieros que una entidad comercial posee para conseguir una ganancia de ellos, o para recibir lucros que impulsen el incremento de capital empresarial, estas pueden ser a corto y largo plazo, las primeras son prácticamente rentables en cualquier momento, mientras que las últimas constituyen cierto porcentaje de riesgo en su participación. Es importante aclarar que este término implica correr un riesgo con el capital inicial, al estar dependiente de los instrumentos para incrementar o disminuir (Espinosa, 2010).

Mina: Excavación consistente en la explotación económica, a partir de la integración de funciones, instalaciones y equipos de un “Yacimiento mineral, formación o criadero de minerales o materias fósiles, que se puede encontrar en el suelo o el subsuelo, que puede hacerse a cielo abierto, en superficie o subterránea” (Ministerio de Minas y Energía, 2015, Pág.32).

Optimización: Según Serpa L & Colmenares J (2004), la optimización es “Buscar la mejor manera de realizar una acción” (Pag.12). Asimismo, también podría definirse como el proceso continuo de seleccionar la mejor solución a un problema que oriente al mejoramiento del rendimiento del mismo causándole que tenga mejores resultados y mayor eficiencia.

2.3 Marco teórico

A continuación, se desarrollarán las teorías que fundamentan el desarrollo del proyecto con base al planteamiento del problema que se ha realizado, con la finalidad de mantener el enfoque investigativo.

2.3.1 Gestión Minera

La industria minera ha sido constante durante décadas: si se desea un aumento en el volumen, la solución directa ha sido aumentar los volúmenes de producción. Sin embargo, con la nueva y avanzada tecnología que ha surgido en los últimos años, la industria minera puede adoptar un enfoque mucho más eficiente para los retornos, al mejorar las operaciones. La gestión de minas se ha vuelto altamente automatizada, utilizando robots, vehículos aéreos no tripulados, explosivos avanzados y tecnología de simulación para proporcionar las materias primas para industrias que van desde la automoción hasta la aeroespacial. La extracción y el procesamiento de los recursos minerales y energéticos generan una serie de impactos ambientales que deben gestionarse y minimizarse para satisfacer la demanda mundial de estos recursos (Castro Silva, Diez-Silva, & Quijano Brand, 2013).

2.3.2 Operaciones Mineras

Consiste en las actividades que se emplean en el desarrollo del proyecto minero relacionado con la extracción de materiales de construcción en sistemas de explotación de canteras. El dimensionamiento de este tipo de operaciones depende entonces de la magnitud del yacimiento y del alcance de la explotación en el tiempo; teniendo en cuenta lo anterior, las principales actividades se representan en la figura 3, y se detallan a continuación. De acuerdo a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2013)

2.3.3 Caracterización de las Operaciones Mineras

Las operaciones mineras se encuentran estructuradas con base a las siguientes actividades:

Preparación: actividad por la cual se ejecuta la limpieza y eliminación de la capa vegetal en la zona de explotación, utilizando para ello, motoniveladora, moto traillas, buldócer, entre otros.

Arranque: en donde se lleva a cabo la perforación o voladura, con el fin de realizar la extracción del estéril y del mineral objetivo, fragmentado en un tamaño que permita su manipulación en las actividades de cargue y transporte.

Cargue: consiste en el cargue del mineral y del estéril extraído, al sistema de transporte que se haya definido para el proceso, el cual puede ser bajo el método cíclico o continuo; en el primero se emplean palas de empuje, cargadores, retro excavadoras, o grúas para cargar el material en un vehículo; y en el segundo se emplea una banda transportadora para transportar el material de manera ininterrumpida.

Transporte: se trata de las actividades que traslada el material o mineral extraído hasta el sitio destinado para el acopio o planta de beneficio; por otra parte, el estéril es llevado a los botaderos definidos para su disposición final.

Acopio: es el almacenamiento del material extraído para ser comercializado y posteriormente utilizado en los procesos de producción; en relación con esto, las características del acopio dependen entonces del tipo de material, el tiempo calculado para su almacenamiento y las características de calidad que deben ser conservadas; en función de estas definiciones es posible emplear un almacenamiento en Pila, en donde el descargue del material se hace en volquetas para ser arrumado con tractor de llantas, orugas o traíllas; o el almacenamiento en Silos, en donde éste se realiza a través de bandas transportadoras que llevan el material directamente a los camiones para ser trasladados a los sitios de consumo.

2.3.4 Explotación de Canteras de Materiales de Construcción

Una cantera es una explotación minera “generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales ornamentales o áridos, estas suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa probablemente, el mayor volumen de minería mundial” (Ministerio de Minas, 2019). Las canteras se definen como sistemas de explotación a cielo abierta utilizadas para la obtención de los agregados requeridos para la producción del concreto.

En virtud de lo anterior, las canteras a cielo abierto consisten en explotaciones en donde la roca se arranca de la falda de un cerro; mientras que en las de corte, la extracción se realiza desde una cierta profundidad en el terreno. Por otra parte, las canteras de materiales consolidados son aquellas de roca, y en las de no consolidados se obtienen materiales como suelos, saprolito, agregados, terrazas aluviales y arcillas (MINMINAS, 2015).

Ahora bien, de acuerdo a la clasificación por el tipo de origen, se identifican las canteras por aluvión o fluviales, las cuales se hallan situadas en las laderas de los ríos, que concentran los resultados de la erosión de la roca, creando grandes depósitos de materiales como cantos rodados y gravas, como arena, limos y arcillas. Adicionalmente, los elementos obtenidos a partir de estos sistemas de explotación se caracterizan por su preferencia en las obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua filtra los materiales y deja aquellos con mayor dureza y con características típicas homogéneas (aristas redondeadas), que facilitan su utilización en los procesos constructivos (Instituto Geológico y Minero de España, 2004).

Por otra parte, las canteras de roca son explotaciones realizadas mediante métodos de corte o excavaciones en depósitos, que tienen su origen en las zonas geológicas determinadas como sedimentarias, ígneas o metamórficas, que además son de carácter estático, es decir que no se autoabastecen, por lo que su fuente resulta limitada. Por lo general este tipo de explotaciones tienen lugar en formaciones rocosas, montañas; y generan productos de menor dureza que el material de las canteras fluviales, debido a que sus características físicas dependen exclusivamente de la historia geológica de la región (Instituto Geological y Minero de España, 2004).

2.3.4.1 Tipos de Materiales de Construcción

En esta sección se encuentran los conceptos asociados a los materiales que resultan del proceso de explotación minera, ya sea como materia prima o como producto no aprovechable, y cuya conceptualización se considera indispensable para comprender adecuadamente los parámetros de este proyecto, estos son

Agregados: Consiste en los materiales líticos, como las arenas, gravas y triturados, empleados en la producción de hormigón asfáltico o hidráulico, que han sido previamente fragmentados y clasificados con el fin de llenar y ocupar un volumen requerido, con material de calidad. Por otra parte, son utilizados con otros fines de ingeniería como el enrocado de presas, obras de protección de costas y márgenes de ríos y mares (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Arena: La arena es un tipo de agregado de tipo fino, cuyo tamaño de grano se considera entre 1/16 a 64 mm; y que es empleado principalmente en la construcción, obtención de concreto, relleno de estructuras civiles, edificaciones, vías, entre otros. Se clasifican en naturales o fabricados, en donde el primer tipo es material en su estado original, mientras que el segundo son aquellos

tritutados y tamizados para obtener un tamaño específico requerido (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Estéril: Se trata de la roca o del material que prácticamente no contiene minerales de valor recuperables, y que acompaña los minerales de valor para la explotación minera: de esta manera, consiste en el material sin valor económico que hace parte del depósito de mineral, y que debe ser removido antes de la operación de extracción (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Grava: Se trata del material compuesto de fragmentos, que forma depósitos sedimentarios, resultantes de la desintegración, natural o artificial, de cualquier tipo de roca, en especial de aquellas ricas en cuarzo, en tamaños comprendidos entre 2 y 76mm (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Gravilla: Se definen como productos resultados de la operación de explotación; y de acuerdo a su tamaño, estos pueden ser clasificados en gruesa, empleado para la elaboración de mezcla asfáltica de vías y concretos; la mediana, empleada igual que el anterior; y la fina, usada en productos de ornamentación de pisos y fachadas (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Rocas: Consiste en el resultado de la extracción de material en las formaciones rocosas, ya sea cubiertas por suelo o expuestas en la superficie. De acuerdo a las características de la roca y uso del producto, se debe planificar los métodos de extracción y los patrones de estratificación, de tal manera que se requiere observar los puntos débiles de la formación, como fisuras y grietas, con el fin no destruir el material y aprovechar al máximo el material (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

2.3.4.2 Clasificación de Materiales de Construcción

Según el código de Minas Ley 685 de 2001, artículo 11, para lo que en efectos legales se considera que los materiales de construcción tienen la siguiente clasificación:

Materiales de construcción de canteras, “este material es explotado principalmente en las zonas de cordilleras como las del altiplano cundiboyacense, los santanderes, los departamentos de valle del cauca y de Nariño, así como de Antioquia, Huila, Caldas, Quindío, y en estas se explotan calizas, areniscas, shertz, y conglomerados. Por lo que se requiere la utilización de perforación, y voladura para el arranque mineral, equipo pesado para la reducción de sobre tamaños y cargue constituyéndose esta actividad como una fuente representativa de empleo de las regiones” (Escobar , 2013)

Materiales de construcción de arrastre de lechos de ríos, “estos tipos de materiales predominan en las zonas de los departamentos de Casanare, Meta, Arauca, Vichada, Guainía, Amazonas, putumayo y la región caribe, se realizan por medio de excavaciones en forma de piscinas denominadas dársenas, construyéndose perpendicularmente con la línea de dirección del cauce del río” (Ministerio de Minas, 2019)

Materiales de construcción de arrastre, “estos materiales son utilizados en grandes volúmenes por lo que provienen de yacimientos minerales abundantes y económicos, entre los más comunes está la arena, la arcilla y la piedra. Su explotación es a cielo abierto y su proceso necesita la utilización de equipo pesados, tanto para la realización como para el cargue y transporte, generando empleos directos e indirectos” (Ministerio de Minas, 2019)

2.3.4.3 Importancia de la Explotación de los Materiales de Construcción

Desde los comienzos el hombre ha realizado modificaciones a su entorno para adaptarlo a sus requerimientos y necesidades, para esto aproximadamente desde el año 13,000 a. de C, se ha aprovechado de los diferentes tipos de materiales naturales (barro, piedra, y fibras vegetales como madera o paja) que ha encontrado, y con el pasar del tiempo ha ido determinando cuales le generan mayor beneficio, para posteriormente transformarlo a lo que conocemos hoy como productos de construcción. En Colombia se presentan “La arena, arcilla, grava de río, caliza y algunas puzolanas, que han sido utilizadas para construir pueblos y grandes ciudades.

Los materiales de construcción que son explotados, “representan un papel muy importante en la industria, porque son la materia prima en la producción de morteros y concretos, bases, sub-bases, rellenos de vías de todos los niveles de tráfico, así como agregado para asfalto y en general todo tipo de obra civil” (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

2.3.4.4 Capacidad Instalada de Maquinaria de Explotación de Materiales de Construcción

La capacidad instalada se refiere al tamaño ideal de la maquinaria requerida para la realización del proceso en este caso triturado. Más específicamente, se considera como aquella determinada con el menor costo posible y también la se puede operar en su punto de costo promedio más bajo. Es la que opera a la escala en la que, en las condiciones existentes de técnica y capacidad de organización, tiene el costo promedio de producción más bajo cuando se incluyen todos los costos que deben cubrirse a largo plazo (Urbina, 2013). Esto significa que la capacidad óptima o instalada

es aquella que opera en el punto más bajo de la curva de costo promedio de producción a largo plazo. La producción en el punto mínimo de la curva de costo promedio a largo plazo se denomina óptima porque en ella los recursos de la sociedad se utilizan de manera más eficiente.

2.3.4.5 Investigación Operativa para Explotación de Materiales de Construcción

La investigación operativa, impulsa el rendimiento y el cambio en todo tipo de organizaciones: grandes, pequeñas, privadas, públicas, con y sin fines de lucro. Se utiliza de manera increíble en la información de la estrategia de alto nivel, mejoramiento de las operaciones diarias, diseño de mejores políticas públicas y más (Jiménez & Tejada, 2007).

El uso de técnicas como el modelado matemático para analizar tareas complejas, como la optimización de la explotación de materias, permite decisiones más efectivas y sistemas más productivos basados en datos pertinentes, la consideración más completa de las opciones disponibles y predicciones cuidadosas de resultados y estimaciones de riesgo.

Jiménez & Tejada (2007) señalan que, en pocas palabras, la investigación de operaciones (OR) es la disciplina de aplicar métodos analíticos avanzados para ayudar a tomar mejores decisiones.

Al utilizar técnicas como el modelado matemático para analizar situaciones complejas, la investigación de operaciones les da a los ejecutivos el poder de tomar decisiones más efectivas y construir sistemas más productivos basados en: 1) Datos más completos, 2) Consideración de todas las opciones disponibles, 3) Predicciones cuidadosas de resultados y estimaciones de riesgo, 4) Las últimas herramientas y técnicas de decisión.

2.3.4.6 Modelos matemáticos de optimización

Un modelo de optimización matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o desigualdades. Los modelos de optimización se utilizan ampliamente en casi todas las áreas de toma de decisiones, como diseño de ingeniería y selección de portafolios financieros. Este sitio presenta un proceso enfocado y estructurado para la formulación de problemas de optimización, el diseño de estrategias óptimas y herramientas de control de calidad que incluyen actividades de validación, verificación y post-solución (Gregori & Sala, 2015).

El modelado de optimización requiere tiempo apropiado. El procedimiento general que se puede usar en el ciclo de proceso de modelado es: (1) describir el problema, (2) prescribir una

solución, y (3) controlar el problema evaluando/actualizando la solución óptima continuamente, mientras se cambian los parámetros y estructura del problema

2.3.4.7 Elementos de los modelos de optimización Matemática

Un modelo matemático comprende principalmente tres conjuntos básicos de elementos que son:

1. *Ecuaciones Matemáticas*: Cada modelo tiene varias variables, así mismo cada variable presenta diferentes valores posibles. Las variables de decisión son los valores o decisiones que se pueden cambiar para llegar a la mejor solución posible para la función objetivo. Se determinan durante el proceso de solución (motor de solución) o posible conjetura inicial (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001). Los insumos pueden ser la demanda, los recursos disponibles, los costos, los rendimientos y las recetas, las restricciones operativas y las preferencias del cliente y los objetivos comerciales. Tienen un dominio (un conjunto de posibles variables), límites (límite superior e inferior del dominio) y un tipo (entero, booleano). Es importante elegir bien las variables de decisión, en las cuales afectará la formulación de las restricciones.
2. *Función objetivo*: una representación matemática de los objetivos de negocio o metas que se deben alcanzar. Siempre comienza con "maximizar" o "minimizar" las salidas, por ejemplo, minimizando costos, inactivo o tiempo, también, maximizando ingresos, rendimiento, rentabilidad, satisfacción del cliente o preferencias de los empleados (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001). Puede ser una expresión simple que implique un solo objetivo o una expresión más compleja que combine varios objetivos. Cada alternativa (solución) se mide por una meta (función = costo, tiempo, # personas), es decir, la alternativa 1 es mejor que la alternativa 2 si la medición en la alternativa 1 es mejor que la (misma) medición en la alternativa 2. Es Se dice que una solución es óptima si es la mejor alternativa entre todas las soluciones posibles, medida por un objetivo (Vera, 2000).
3. *Restricciones*, se definen la relación entre diferentes variables de decisión. Representan los límites dentro de los cuales debería existir la solución. Hay 2 tipos de restricciones. (1) Las restricciones difíciles no deben violarse bajo ninguna circunstancia y (2) las restricciones flexibles pueden violarse bajo ciertas circunstancias (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001).

2.3.4.8 Tipos de modelos de optimización matemática.

Los problemas de optimización se pueden clasificar en términos de la naturaleza de la función objetivo y la naturaleza de las restricciones. Las formas especiales de la función objetivo y las restricciones dan lugar a algoritmos especializados que son más eficientes. Desde este punto de vista, hay cuatro tipos de problemas de optimización, de complejidad creciente (Vera, 2000).

Un problema de optimización sin restricciones es un problema de optimización en el que la función objetivo puede ser de cualquier tipo (lineal o no lineal) y no hay restricciones. Estos tipos de problemas son manejados por las clases discutidas en las secciones anteriores (Vasquez, Cárdenas, Carrillo, & Rosero, 2015).

Un programa lineal es un problema de optimización con una función objetivo que es lineal en las variables, y todas las restricciones también son lineales.

Un programa cuadrático es un problema de optimización con una función objetivo que es cuadrática en las variables (es decir, puede contener cuadrados y productos cruzados de las variables de decisión), y todas las restricciones son lineales. Un programa cuadrático sin cuadrados o productos cruzados en la función objetivo es un programa lineal.

Un programa no lineal es un problema de optimización con una función objetivo que es una función arbitraria no lineal de las variables de decisión, y las restricciones pueden ser lineales o no lineales (Vasquez, Cárdenas, Carrillo, & Rosero, 2015).

2.3.4.9 Métodos de resolución de modelos matemáticos

Existen diferentes métodos de resolución de modelos matemáticos no lineales, para el desarrollo de este proyecto se utiliza el *GRG (Generalized Reduced Gradient) Nonlinear*, que es la opción predeterminada que manejan la mayoría de las funciones de Excel, excepto SI, ELEGIR, BUSCAR y otras. Al igual que otros algoritmos de programación no lineal, parte de una solución factible conocida como punto inicial, haciendo que el algoritmo se mueva, por medio de este punto, en una dirección a través de la región factible, de forma que el valor de la función objetivo mejore”.

- 1) Es importante tener en cuenta dos características de las posibles soluciones que se obtienen al resolver un programa no lineal con solver:
- 2) El óptimo local en que finaliza el algoritmo depende del punto inicial.
- 3) El algoritmo puede finalizar en un óptimo local que puede no ser el óptimo global del problema

Sin embargo, con fines académicos se debe establecer que existe otro método de solución de modelos matemáticos Simplex, pero en este caso es referente a problemas de programación lineal.

El método simplex, es iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en encaminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya según el contexto de la función objetivo sea maximizar o minimizar, dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallará solución.

Este método fue creado en el año de 1947 por el estadounidense George Bernard Dantzig y el ruso Leonid Vitaliyevich Kantorovich, con el ánimo de crear un algoritmo capaz de solucionar problemas de m restricciones y n variables.

2.3.5 Evaluación financiera

La importancia de la evaluación financiera en el desarrollo de este proyecto, se fundamenta en que una vez encontrada la capacidad de la planta de triturado por medio del modelo matemático de optimización, estas cifras, por si solas no garantizan la viabilidad económica, por lo que posteriormente se debe realizar un análisis de carácter financiero de profundidad, correctamente estructurado, que brinde información confiable que permita tomar decisiones.

Con relación a lo anterior, la inversión de los fondos en activos determina el tamaño de la empresa, sus beneficios operativos, el riesgo empresarial y su liquidez. La obtención de la mejor combinación de financiamiento y dividendos determina los cargos financieros de la compañía y su riesgo financiero; También tienen un impacto en su valoración. Todo esto requiere una visión muy amplia y una creatividad prudente que influirá en casi todos los aspectos del negocio (Fernández, 2008). Así es como, aprovechando los elementos de la administración financiera y la contabilidad, daremos un piso a la realidad financiera de este proyecto; Con una breve introducción teórica de los conceptos utilizados.

La función de la inversión incluye tres decisiones fundamentales que la empresa debe tomar: inversión, financiamiento y dividendos. La decisión de inversión es la más importante de las tres cuando se toma para crear valor. "La inversión de capital es la asignación de capital a los objetivos de inversión, cuyos beneficios se lograrán en el futuro. Y debido a que se desconocen los beneficios futuros, es inevitable que exista riesgo" (Fernández, 2008, página 76).

Para la correcta ejecución de una evaluación financiera de la realización de un modelo matemático de optimización para la explotación de materiales se deben realizar las siguientes acciones:

2.3.5.1 Análisis de costos

El análisis de costos se refiere a la determinación del valor monetario de los insumos (mano de obra, materia prima, transporte), denominado como el costo general de producción que ayuda a decidir el nivel óptimo de producción. El costo total es la relación entre la cantidad de producción y los costos, expresada como: $\text{costo total} = \text{costo fijo} + \text{costo variable} * \text{salida}$. A continuación, se definen los dos términos relacionados costos fijos y costos variables para una mayor comprensión:

Los costos se clasifican de acuerdo a su comportamiento. El comportamiento de un costo es cómo el costo responde a los cambios en el nivel de la actividad comercial. Los costos se dividen en términos generales en costos variables y costos fijos. Por ejemplo, el costo variable total aumenta y disminuye en relación con los cambios en los niveles de actividad del negocio. A la inversa, los costos fijos no se ven afectados por los cambios en el nivel de actividad empresarial, permaneciendo igual en todo momento (Polimeni & Lopetegui, 1994).

Costos variables: Para que un costo sea variable, debe ser variable con algo, que es su base de actividad. La base de actividad de un costo variable es un impulsor de costos, que es una medida de esfuerzo que influye en lo que hace que el costo cambie. El tipo y la cantidad de costos variables que tiene una empresa depende de la naturaleza de la estructura de la empresa. La variación total de un costo variable es directamente proporcional a los cambios en el nivel de actividad comercial. Un costo variable cambia de acuerdo con la unidad particular de producción. Los costos variables incurridos durante un período de tiempo establecido se pueden calcular utilizando la siguiente fórmula: $\text{Costo variable total} = \text{Cantidad de salida total} * \text{Costo variable por unidad de salida}$

Costes fijos: Sólo se incurren una vez y permanecen constantes en el monto total en dólares, independientemente del nivel de actividad (Polimeni & Lopetegui, 1994). Los costos fijos están relacionados con el tiempo. Por ejemplo, los costos indirectos y los gastos generales, como salarios, alquileres, seguros y publicidad, se consideran costos fijos porque: 1) permanecen sin cambios, independientemente de los aumentos o disminuciones en la producción, y 2) no dependen del nivel de bienes o servicios producidos por la empresa. Sin embargo, los costos fijos disminuyen

por unidad a medida que aumenta el nivel de actividad comercial, y aumentan por unidad a medida que disminuye el nivel de actividad comercial. Por ejemplo, cuando se producen unidades adicionales, hay una disminución en el costo unitario.

Los costos fijos totales pueden ser: 1) Comprometidos, que son a largo plazo y no pueden reducirse a cero en ningún punto, o 2) Discrecional, que se administran y se basan en decisiones periódicas de inversión / gasto.

Los costos fijos comprometidos son inversiones en planta y equipo, y los discretos son costos de investigación y desarrollo, publicidad o programas de desarrollo.

Los Costos ABC: miden el costo y el desempeño de las actividades fundamentando en el uso de recursos, y organizando las relaciones de los responsables con los centros de costos de las diferentes actividades.

2.3.5.2 Análisis de rentabilidad

La rentabilidad se mide con ingresos y gastos. El ingreso es dinero generado por las actividades del negocio. Por ejemplo, si los cultivos y el ganado se producen y venden, se generan ingresos. Sin embargo, el dinero que ingresa al negocio por actividades como pedir dinero prestado no genera ingresos. Esto es simplemente una transacción en efectivo entre el negocio y el prestamista para generar efectivo para operar el negocio o comprar activos. Ya sea que esté registrando la rentabilidad del período anterior o proyectando la rentabilidad para el período siguiente, la medición de la rentabilidad es la medida más importante del éxito del negocio. Un negocio que no es rentable no puede sobrevivir. Por el contrario, un negocio que es altamente rentable tiene la capacidad de recompensar a sus propietarios con un gran retorno de su inversión. El aumento de la rentabilidad es una de las tareas más importantes de los gerentes de negocios. Los gerentes buscan constantemente formas de cambiar el negocio para mejorar la rentabilidad. Estos cambios potenciales se pueden analizar con un estado de resultados pro forma o un presupuesto parcial. El presupuesto parcial le permite evaluar el impacto en la rentabilidad de un cambio pequeño o incremental en el negocio antes de que se implemente (Morillo, 2001).

La rentabilidad de una empresa influye en su valor y en la cantidad de ingresos que genera para sus propietarios. Dos indicadores financieros que miden la rentabilidad de una empresa son el beneficio neto y el rendimiento de los activos. El porcentaje de ganancia neta es la cantidad de ganancia neta dividida por la cantidad de ventas por 100.

El porcentaje de retorno sobre activos es la cantidad de ganancia neta dividida por el valor total de los activos de la compañía por 100. El porcentaje de ganancia neta El beneficio, o margen de beneficio neto, mide la capacidad de la empresa para generar excedentes de efectivo. El porcentaje de rendimiento de los activos mide la eficiencia con la que la empresa está utilizando sus recursos.

2.3.5.3 Análisis del Periodo de recuperación de capital

Un término que tiene varios significados relacionados en el mundo de los negocios. Es, principalmente, la ganancia de los fondos iniciales que se invierten en una inversión. Cuando se hace una inversión por primera vez en un activo o en una empresa, el inversionista ve inicialmente un rendimiento negativo, hasta que se recupera la inversión inicial. El retorno de esa inversión inicial se conoce como recuperación de capital. La recuperación de capital debe ocurrir antes de que una empresa pueda obtener una ganancia por su inversión, y cuando una empresa recupera el dinero que ha invertido en maquinaria y equipo a través de la disposición y liquidación de activos. El concepto de recuperación de capital puede ser útil para una empresa, ya que decide qué activos fijos debe comprar (Aronson, y otros, 2007).

2.3.6 Análisis de los referentes

Se puede establecer con base en la investigación teórica realizada que 1) la *gestión minera*, reconocida como la extracción y el procesamiento de recursos minerales y energéticos, (agregados, gravas arenas) es proveedora de materias primas y de gran utilidad para diferentes actividades de la economía entre ellas la construcción, asimismo que exige una correcta determinación de sus operaciones donde se determine su objetivo, alcance, presupuesto y líder, para lograr el máximo aprovechamiento de los recursos y alcanzar los resultados esperados en sus proyecciones, 2) la *capacidad instalada* que se relaciona al tamaño ideal de la maquinaria requerida para la realización del proceso en este caso de triturado y que para su obtención se pueden utilizar diferentes herramientas de programación, 3) investigación operativa, que es el uso de técnicas de modelado matemático para realizar tareas complejas como en este caso determinar la capacidad requerida para cumplir con las variables, restricciones, y parámetros establecidos, es importante recalcar que como resultados investigativo se define que esta problemática es de carácter no lineal por lo que selecciona como la mejor alternativa al método de resolución el GRG Nonlinear al partir de una

solución factible hasta que se encuentre una óptima y por ultimo 4) la viabilidad financiera, que en este caso se maneja como el análisis de los resultados , el ahorro alcanzado por la diferencia de dividir las compras de materiales entre proveedores y planta de triturado a máxima capacidad, con base a los resultados del modelo matemático, a comprarlas en su totalidad a proveedores, comprobando que con base en esto se calcula el retorno de la inversión y la oportunidad de la empresa de mejorar sus costos productivos.

2.4 Marco Legal

A continuación, se desarrollarán las bases legales referentes a leyes, decretos y normas relacionadas directamente con la temática a desarrollar en este proyecto, para poder determinar su alcance y sus limitaciones constituyentes.

2.4.1 Ley 20 de 1969.

Esta ley dicta algunas de las disposiciones entre minas e hidrocarburos, entre las más importantes se encuentra su primer y segundo artículo, los cuales establecen que todas las minas son de la nación, sin perjuicio de los derechos establecidos a favor de tercero, y “El objeto de los derechos que a cualquiera título conceda la nación, es Alcanzar por medio de la previa exploración técnica, el aprovechamiento total de las sustancias económicamente explotables que se encuentran en la zona” (Congreso de Colombia, 1969, pág. 1). En importancia al desarrollo de este trabajo, al tratarse de asuntos mineros, se debe aclarar que sin ninguna excepción toda acción minera de exploración, articulación y explotación debe tener su oportuno título de registro y vigencia, para darle la publicidad y hacer discutibles a terceros los derechos que provengan del reconocimiento legislativo o títulos que se accedan.

2.4.2 Ley 99 de 1993.

Ley general Ambiental de Colombia, por la cual se crear “el Ministerio de medio ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los Recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones” (Congreso de Colombia, 1993, pág. 1).

2.4.3 Ley 685 de 2001.

Por medio de esta ley, se consigna “el código de minas y se dictan otras disposiciones, como su objetivo de fomentar la exploración técnica, y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada, estimulando estas actividades en orden de satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos” (República, 2001, pág. 1).

2.4.4 Decreto 4134 de 2011.

Por medio de este decreto, se crea “La agencia nacional de minería, ANM de naturaleza especial, del sector descentralizado de la rama ejecutiva del orden nacional, con persona jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, técnica y financiera, adscrita al ministerio de Minas y energía, ubicada en Bogotá, se determina su objetivo y su estructura organiza” (Ministerio de Minas y energía, 2011)

2.4.5 Decreto 480 de 2014.

Por medio de este decreto, se establece las condiciones y requisitos para el desarrollo de contratos de los subcontratos para la formalización minera con “Aquellos explotadores mineros de pequeña escala definidos por el ministerio de Minas y energía, que a la fecha de expedición de la ley 1658 de 2013, se encuentren realizando actividades de explotación dentro de las áreas otorgadas por título minero de cualquiera de sus etapas” (Ministerio de Minas y energía, 2014, pág. 1)

2.4.6 Decreto 0276 de 2015.

Por medio de este decreto se establece “La implementación del Registro Único de Comercializadores de Minerales (RUCOM), en el que se deben inscribir comercializadores de minerales como requisito de acceso a comprar y vender materiales y así como publicarse los titulares de derechos mineros en etapa de explotación” (Ministerio de Minas y energía, 2015, pág. 2)

2.4.7 Decreto 1073 de 2015

Se establece “El decreto Único reglamentario del sector administrativo de Minas y energías” (Ministerio de Minas y energía, 2015).

2.4.8 Resolución 40391 de 2016

Se define “La Política Minera Nacional que determina la regularización minera y promueve el ejercicio en condiciones de formalidad legal, técnica, laboral, ambiental, económica y social, con el fin de implementar estrategias orientadas a hacer más competitiva y productiva la industria y lograr que la minería en Colombia sea ordenada, legítima, incluyente y competitiva.” (Ministerio de Minas y energía, 2010, pág. 2).

CAPÍTULO 3. MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN DE CAPACIDAD INSTALADA DE LA PLANTA DE TRITURADO

3.1 Introducción

Actualmente gracias a los avances tecnológicos, el sector empresarial cuenta con herramientas como los modelos matemáticos de optimización que le permite la aplicación de métodos científicos en la mejora de su efectividad en las operaciones, decisiones y gestión, resolviendo problemas y ayudando a las funciones de gestión, planificación o predicción, aportando la información requerida para la toma de decisiones.

A partir de lo anterior y con el fin de lograr el aprovechamiento de tales herramientas de mejora para la eficiencia en las operaciones de la empresa, este proyecto establece el diseño y optimización de un modelo matemático para la determinación de la capacidad instalada de una planta de triturado fundamentado especialmente en tres principales materias primas ((Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena G), y sus debidas restricciones de cantidad y costos. El siguiente modelo a desarrollar corresponde a la programación no lineal y será solucionado a través de Solver- Excel y el método utilizado es el GRN Nonlinenar por ser el que más se adapta a sus características.

El presente capítulo denominado “*Modelo Matemático de Optimización de capacidad instalada de la planta de triturado*”, presenta los siguientes subcapítulos: 1) *Caracterización del proceso de trituración*, donde se realiza una descripción detallada de todas las características de los procedimientos y operaciones como son las salidas, entradas, recursos, objetivos, diagrama de flujo entre otros que permitieron la definición de las variables y parámetros que son utilizados; 2) *el desarrollo del modelo matemático de optimización*, donde se definen variables y parámetros, se construye la función objetivo y se consideran las restricciones con base a las cantidades proyectadas y los costos establecidos en la caracterización del proceso; 3) *la resolución del modelo matemático de optimización*, donde se demuestra cómo se efectúa la construcción del modelo y los resultados reflejados por cada uno de los cinco años que serán evaluaciones para dar mayor viabilidad y confiabilidad, al igual que su promedio pronosticado, y para finalizar 4) *la evaluación financiera del modelo de optimización*, donde se realiza un comparativo entre los costos reflejados por los resultados versus los que serían si se adquiriera todas las materias primas con los proveedores, reconociéndose así los ahorros significativos que serían alcanzados si se lleva a cabo el desarrollo de este proyecto con la capacidad instalada indicada.

3.2 Caracterización del Proceso de Trituración y Clasificación

Con relación al proceso de triturado y clasificación, a continuación, se caracterizan los procesos dentro de sus aspectos más importantes, con información que permite establecer las bases de los requerimientos necesarios para el correcto desarrollo de los siguientes ítems que son descritos en la Tabla 2.

Tabla 2 Aspectos importantes del proceso de planta de triturado y clasificado

Objetivo del procesos	Extraer, triturar y clasificar gravas y arenas, para el abastecimiento de materias primas en la planta de concreto.
Alcance del proceso	La explotación de una cantera de propiedad de la compañía, para el abastecimiento de los requerimientos de materias primas de la planta de concreto en la ciudad de Barranquilla, bajo las cantidades pronosticadas de ventas de concreto
Líder del procesos	El jefe de trituración y clasificación de materia prima en la cantera de la empresa Multilatina,
Área que recibe el producto	Planta de concreto Barranquilla
Políticas de operaciones	Ley 20 de 1969, Ley 99 de 1993, Ley 685 de 2001, Decreto 4134 de 2011, Decreto 480 de 2014., Decreto 0276 de 2015, Decreto 1073 de 2015, Resolución 40391 de 2016, Norma técnica colombiana 174.

Fuente: Autores

3.2.1 Materiales e insumos del proceso de trituración y clasificación

1) El área de explotación

Geomorfológicamente es de dos tipos, las colinas que representan el 45% del título minero y otra zona totalmente plana que ocupa el 55% del resto del título minero en cuestión. Las colinas que son las áreas de interés a explotación presentan granulometrías gruesas en contraste con las áreas planas.

Con relación a lo anterior, se realizaron estudios geológicos en el área mediante trabajos de superficie para reconocimiento e identificación de dichas áreas mediante la realización de trincheras a lo largo y ancho del depósito mineral y su posterior muestreo y modelamiento geológico, con el fin de recolectar información para cálculo de volúmenes y para análisis de laboratorio, granulometrías y demás. El cálculo de reservas de recursos mineros en más de 16.534.789 de toneladas, que será el volumen pronosticado de explotación.

2) Descripción de maquinaria

Tabla 3. Maquinaria del proceso de triturado y clasificación

Equipo	Descripción
Volqueta: Marca Mack Ref. Gu813 My2016	El camión Mack GU 813 tiene un marco más resistente especialmente diseñado para trabajo duro, con un poderoso motor Mack eficiente en consumo de combustible, proporciona todo el "músculo" necesario en el trabajo diario. Peso de operación 8.363kg
Excavadora Hidráulica Cat Modelo 330d2	Excavadora Hidráulica sobre orugas nueva, marca CATERPILLAR, modelo 330D2L, equipada con motor diésel C7.1 de 211hp net os, cabina cerrada con aire acondicionado, configuración de rodaje largo con zapatas de 711 mm, configuración de brazo y pluma de excavación masiva con profundidad de excavación máxima de 6.140mm, cucharón de trabajo severo con 1.676mm de ancho y capacidad de 2,14m3, sistema de monitoreo satelital, sistema de luces y todo su equipo estándar para normal funcionamiento.
Cargador de ruedas Cat modelo 950gc	Cargador sobre ruedas nuevo, marca CATERPILLAR®, modelo 950GC, equipado con motor diésel C7.1 de 202 HP net os, cabina cerrada con aire acondicionado, llantas de 23,5-25, cucharón de 3.2 m3 de capacidad, sistema de monitoreo satelital, luces de trabajo y todo su equipo estándar para normal funcionamiento

Fuente: Autores

3) *Mano de obra*

Trabajadores cuya actividad se relaciona directamente con las labores de extracción de minerales (operadores de maquinaria pesada) desde los frentes de explotación, las labores de cargue (Cargadores) y transporte del mineral extraído hasta el patio de acopio de la trituradora (Volquetas), como también los operarios de planta de trituración.

4) *Contraprestaciones*

Aquí se considera el concepto de servidumbre minera que obedece a la necesidad de acceder a un predio para ejercer las actividades de exploración y explotación. La relación entre propietario del terreno y el concesionario del título minero resulta en un gravamen por lo tanto existe una contraprestación del propietario del predio a ser compensado, con una indemnización determinar

3.2.2 Actividades de la planta de trituración

Se desarrollará una explotación de una cantera a cielo abierto y posteriormente un sistema de trituración que procese la materia prima extraída y la convierta en gravas y arenas para concreto, y como tal se desarrollarán las siguientes actividades a saber:

Tabla 4 . Resumen del proceso


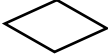


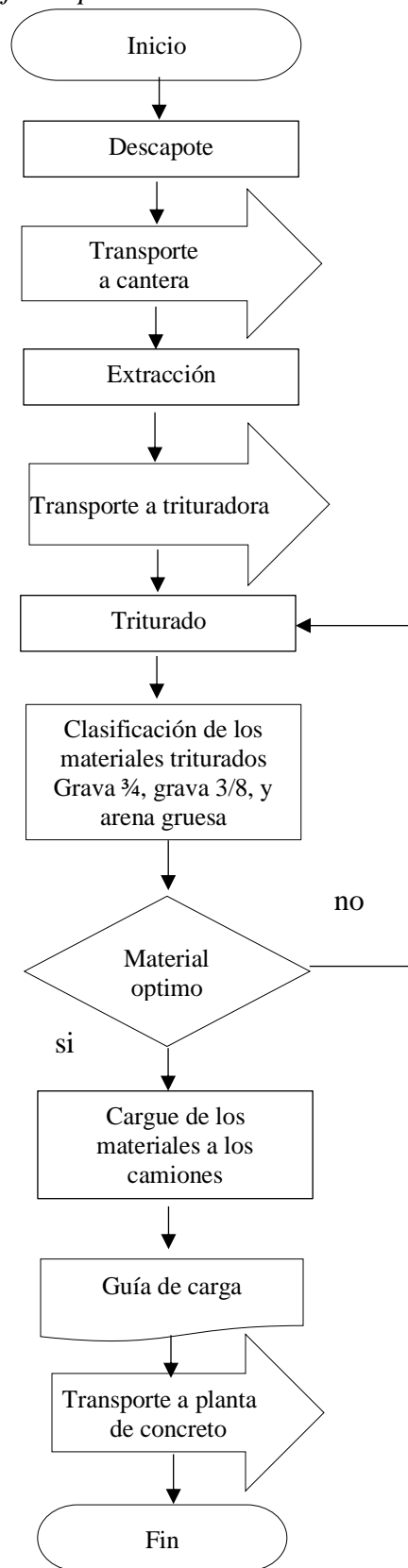
Símbolo	Definición	Cantidad
	Indica el inicio o la terminación del flujo	2
	Representa una decisión de si o no	1
	Documento utilizado en el proceso	1
	Actividad llevada a cabo en el proceso	4
	Total operaciones	8

Gráfico No. 7 *Diagrama de flujo del proceso No. 1*



A continuación, se describe cada uno de los procedimientos del proceso de trituración y clasificación:

Extracción: remoción de las rocas provenientes de la cantera ubicada en el norte del departamento de Bolívar en el corregimiento de Arroyo Grande en jurisdicción del distrito de Cartagena.

Trituración y clasificación: carga mediante retroexcavadora el material pétreo proveniente del punto de acopio pasa la trituradora y de esta por medio de bandas transportadoras son categorizadas, tres tipos de productos con Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena. Este proceso se supervisa por dos operativos.

Transporte de material a la planta de concreto Multilatina: el material que, si es óptimo, es transportado a la planta de concreto directamente, de lo contrario se retorna nuevamente a la máquina de triturado. Este procedimiento tiene como soporte la guía de carga para que al momento de llegar cada uno de los materiales se relacionen las cantidades que son transportadas y sirva de soporte para verificar el cumplimiento de los pronósticos establecidos de producción y los despachos realizados.

Descripción de las operaciones que se realiza en este proceso son:

Tabla 5. Operaciones del proceso de trituración y clasificación

Operaciones	Descripción
Operaciones de Preparación y Desarrollo de la Cantera (Remoción de Estériles).	Estas actividades están destinadas a hacer posible la explotación de mineral contenido en un yacimiento; estas actividades son: 1) Adecuar las vías de acceso a frentes de explotación y los botaderos de material estéril, 2) Adecuar los depósitos estériles (Áreas libres de vegetación y suelos, drenajes aguas lluvias), 3) Adecuar área de operación minera (Retiro de capa vegetal), y 4) Adecuar patios de acopio mineral.

Operaciones de Arranque mecánico	<p>Conjunto de operaciones necesarias para separar y reducir de tamaño la roca interés del macizo rocoso donde esta se encuentra para facilitar los procesos posteriores de carga y transporte. Se realizará arranque mecánico de las rocas.</p> <p>Por cargue se define la recogida de la roca arrancada del suelo, y su traslado hasta un medio de transporte. Esta operación se realiza a la vez que el arranque cuando se realiza con maquinaria. En minería a Cielo Abierto el arranque y cargue mediante maquinaria (excavadoras), constituyen una sola operación.</p> <p>Una vez el material es arrancado y cargado, se transporta en volquetas directamente a la planta de clasificación y trituración.</p>
Operaciones de Cargue y Transporte	
Operaciones de Trituración	<p>Una vez el material es transportado desde la cantera y hacia la planta de trituración, este se lava, se clasifica y se tritura, con el fin de fabricar arenas y gravas para que cumpla con las normas NTC para la fabricación de concreto.</p>

3.2.3 Resultado del proceso de trituración y clasificación

A partir de la extracción de rocas del frente de explotación, y el desarrollo de las cuatro actividades aquí expuestas, se fabrican gravas y arenas, bajo las normas técnicas NTC y/o INVIAS para fabricación de concreto en las cantidades requeridas por la planta de concreto en las cantidades pronosticadas.

3.2.3.1 Proyección de la producción de la planta de trituración

Tabla 6. Material Útil para producción planta Multilatina

Material	Arena	3/8"	3/4" (#67)
Porcentaje	65%	9%	26%

Fuente: Autores

En relación a la Tabla No. 6, se establece que los porcentajes que se proyecta la producción de la planta de trituración, con base a la granulometría realizada por expertos a la cantera, se encuentra que un 65% sería de arenas gruesas (el 59% de arena clasificada, y el 6% a arena triturada), el 26% grava 3/4, y un 9% grava 3/8.

3.2.3.2 Proyección de los requerimientos de gravas y arenas

Tabla 7 . Pronóstico de sumatoria mensual de toneladas de las tres materias primas Gravas ¾, Grava 3/8, y Arena gruesa requeridas por la planta de concreto

	Ton/mes	Ton/mes	Ton/mes	Ton/mes	Ton/mes
	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	Año 2025
Enero	25.581	27.484	29.388	31.292	33.196
Febrero	25.739	27.643	29.547	31.451	33.354
Marzo	25.898	27.802	29.705	31.609	33.513
Abril	26.057	27.960	29.864	31.768	33.672
Mayo	26.215	28.119	30.023	31.927	33.830
Junio	26.374	28.278	30.181	32.085	33.989
Julio	26.533	28.436	30.340	32.244	34.148
Agosto	26.691	28.595	30.499	32.402	34.306

Septiembre	26.850	28.754	30.657	32.561	34.465
Octubre	27.009	28.912	30.816	32.720	34.623
Noviembre	27.167	29.071	30.975	32.878	34.782
Diciembre	27.326	29.230	31.133	33.037	34.941
Total	317.439	340.284	363.129	385.974	408.819

Fuente: Autores

En la anterior Tabla No. 7, se puede analizar los distintos pronósticos de demanda de los materiales que serán requeridos por cada uno de los doce meses de los próximos cinco años, comenzando por el mes de enero del año 2021, con una demanda de toneladas de 25,581 y terminando con la máxima proyección del mes de diciembre del año 2025 con 34,941. Así mismo se determina que la mínima cantidad total de toneladas anual requeridas será de 317,439 para el año 2021, y la máxima será de 408,819 en el año 2025, y la cantidad promedio de estos cinco años será de 363,129 toneladas.

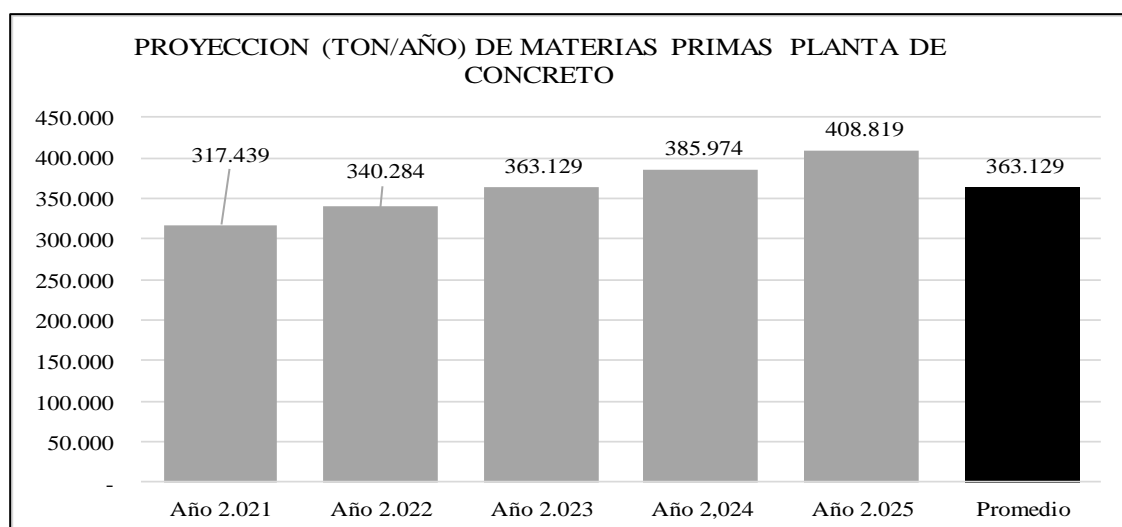


Gráfico No. 8 Pronostico de requerimientos de toneladas año de materias prima

El grafico No. 8 permite comprender que las variaciones existentes entre las demandas futuras de materiales tendrán un promedio de 364,129 toneladas al año, es decir una diferencia de 91,380 entre el primer año de la proyección 2021 y el último 2025.

3.2.3.3 Proyección costos de proveedores para materia prima planta de concreto

Tabla 8 Pronóstico IPP para los próximos 5 años

Año	IPP
2020	3.83%
2021	3,83%
2022	3,83%
2023	3,83%
2024	3,83%
2025	3,83%

En la Tabla No. 8 se realiza la proyección del porcentaje del IPP para los próximos cinco años. Información fundamental para realizar el pronóstico de los costos a proveedores y los costos por rendimiento de maquinaria de la planta de triturado y clasificado 2021- 2025

Tabla 9 Proyección costos por tonelada de proveedores 2021-2025

	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025
C ¾”P	\$ 37.379	\$ 38.810	\$ 40.297	\$ 41.840	\$ 43.443
C 3/8”P	\$ 31.149	\$ 32.342	\$ 33.581	\$ 34.867	\$ 36.202
C AG P	\$ 22.843	\$ 23.717	\$ 24.626	\$ 25.569	\$ 26.548

Fuente: Autores

En la tabla No. 9, se realiza la proyección de los costos de proveedores de los tres materiales requeridos para la planta de concreto, en relación a esto se puede decir que para el año 2.021 el costo por toneladas de ¾ por el proveedor es de \$37.379 y para el año 2025, será de \$43,443 una diferencia de \$6,064 pesos.

3.2.3.4 Proyección de costo tonelada por rendimientos de maquinaria de planta de triturado y clasificado 2021-2025

La tabla 10 describe para cada nivel de producción (ton/hora) el número de equipos necesarios a utilizar dentro del proceso productivo en la planta de triturados y los costos de operación en (\$/ton), calculados con el programa de Excel propio del departamento de minería como se muestra en el anexo 1, el cual describe detalladamente como se utilizan los equipos de acuerdo a los rendimientos medidos en campo, determinando un factor de capacidad de cada uno de ellos de acuerdo al rendimiento versus el requerimiento real; por ejemplo; para un nivel de producción de 100 ton/hora para el año 2.022 se requiere una excavadora CAT 330D2L para tres operaciones:

Operación	Factor de Operación
Arranque de Mineral	0,5
Arranque de Descapote	0,1
Adecuación de Estéril	0,1
Total:	0,7

Lo anterior, quiere decir que se esta usando la excavadora en un 70% de su capacidad total, sin embargo, se debe asumir una ineficiencia del 30% y considerar el hecho de usar un factor de uso de 1, lo que significa el uso de una excavadora en operación con un 70% de uso.

Todos los factores de uso de todos los equipos están calculados con un programa de Excel propio del departamento de minería, donde se incluyen todos los detalles de una operación minera, de manera similar se calcula el factor de uso para los demás equipos.

EQUIPOS A UTILIZAR	Factor uso	Costo Unitario (\$/ton)
Excavadoras	1	\$ 2.480
Cargadores	1	\$ 2.011
Equipo de Trit	1	\$ 9.051
Volquetas	1	\$ 3.715
Total:		\$ 17.256

Con el programa de Excel del anexo 1, se calculan todos los equipos y costos para el año 2.021 al 2.025 de acuerdo al pronostico del IPP y estos valores quedan consignados en la Tabla 10.

Tabla 10 Costos tonelada proyectados 2021-2025, con base a la cantidad de maquinaria requerida y capacidad por hora de la planta de triturado y clasificado.

Ton/h	Excavadoras	Cargas	Equipo de Trit	Volquetas	Costo (\$/ton) 2021	Costo (\$/ton) 2022	Costo (\$/ton) 2023	Costo (\$/ton) 2024	Costo (\$/ton) 2025
80	1	1	1	1	\$ 17.939	\$ 18.626	\$ 19.339	\$ 20.080	\$ 20.849
90	1	1	1	1	\$ 16.522	\$ 17.155	\$ 17.812	\$ 18.494	\$ 19.203
100	1	1	1	1	\$ 16.619	\$ 17.256	\$ 17.917	\$ 18.603	\$ 19.315
110	1	1	1	1	\$ 15.580	\$ 16.177	\$ 16.797	\$ 17.440	\$ 18.108
120	1	1	1	2	\$ 14.715	\$ 15.278	\$ 15.863	\$ 16.471	\$ 17.102
130	1	1	1	2	\$ 13.982	\$ 14.518	\$ 15.074	\$ 15.651	\$ 16.250
140	1	1	1	2	\$ 13.354	\$ 13.866	\$ 14.397	\$ 14.948	\$ 15.521
150	1	1	1	2	\$ 12.810	\$ 13.301	\$ 13.810	\$ 14.339	\$ 14.888
160	1	1	1	2	\$ 12.334	\$ 12.806	\$ 13.297	\$ 13.806	\$ 14.335
170	2	1	1	3	\$ 13.603	\$ 14.124	\$ 14.665	\$ 15.227	\$ 15.810
180	2	1	1	3	\$ 13.136	\$ 13.639	\$ 14.161	\$ 14.704	\$ 15.267
190	2	2	1	3	\$ 13.419	\$ 13.933	\$ 14.466	\$ 15.020	\$ 15.596
200	2	2	1	3	\$ 13.007	\$ 13.505	\$ 14.023	\$ 14.560	\$ 15.117

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla No. 10, se establece el costo por rendimiento de maquinaria de planta de triturado y clasificación, es decir que con base en la capacidad de la trituradora se determina la cantidad de maquinaria requerida y los costos proyectados a cada uno de los años análisis de estudio. Para el caso de 100 ton/hora, valor inicial para encontrar la capacidad real (Objeto de este proyecto), se tiene un costo de \$17,256, y requiere una excavadora, un cargador, una trituradora, y dos volquetas.

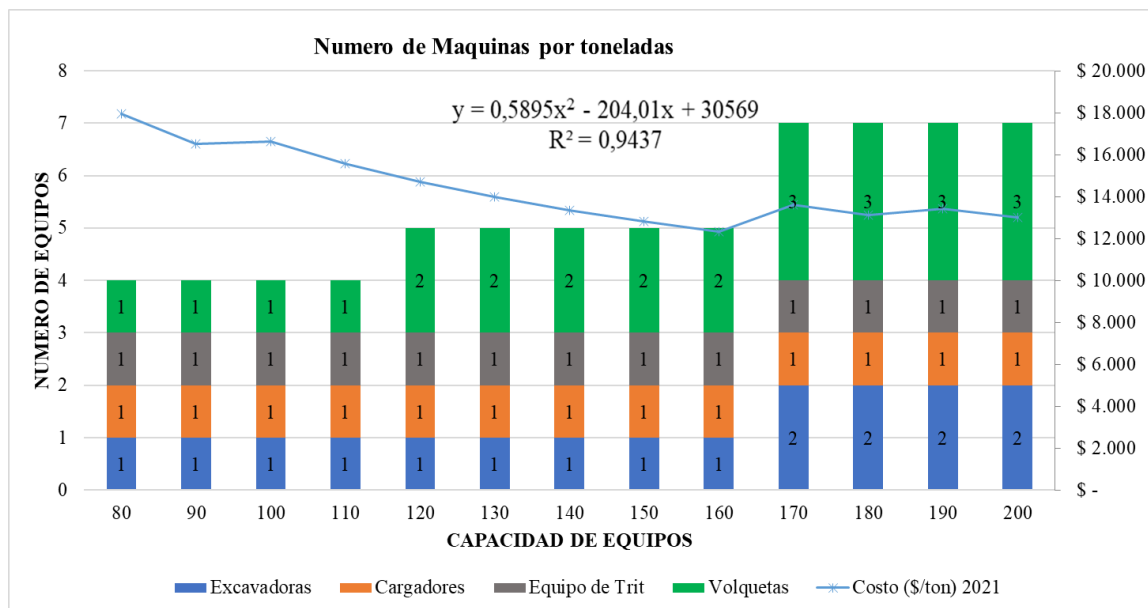


Gráfico No. 9 Costos operación año 2.021 y números de equipos de acuerdo a la capacidad de la planta

La gráfica No. 9, muestra los costos de rendimiento de maquinaria para el año 2021 donde se establece un rango de 80 ton/hora hasta 200 ton/hora, y los requerimientos de maquinaria por cada una, ejemplo para 180 ton/hora, se requieren dos excavadoras, un cargador, un equipo de triturado, y tres volquetas.

3.2.3.5 Proyección de costos de operación de la planta de triturado

A continuación, se analizan todos los costos de operación referentes al proceso de triturado, como son valor de maquinaria, depreciación, inversión, seguros, mantenimiento, combustible, costos de insumo, operadores de equipos, costo transporte, y alimentación.

Tabla 11 .Costo por hora de maquinaria de la planta de triturado

Equipo	Excavadora Caterpillar CAT 330d2l	Cargador Caterpillar cat 950gc	Volqueta Mack GU 813 my2016	Trituradora impacto chasis FRC	Generador DSMO modelo d500us
Peso operativo (ton)	30,3	18,676	8,3	N/a	N/a
Cantidad	1	1	3	1	1
Depreciación:	\$ 45.676	\$ 35.774	\$ 25.097	\$ 76.730	\$ 8.288
Inversión:	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Seguros:	\$ 4.933	\$ 3.864	\$ 3.012	\$ 6.733	\$ 995
Mantenimiento:	\$ 25.122	\$ 14.310	\$ 17.066	\$ 69.057	\$ 7.459
Total cargos fijos:	\$ 75.731	\$ 53.948	\$ 45.175	\$ 219.851	\$ 16.741
Combustible	\$ 47.550	\$ 23.775	\$ 49.500	\$ 120.750	\$ 184.500
Aceite lubric (motor)	\$ 3.233	\$ 2.735	\$ 1.673	\$ 2.735	\$ 2.735
Costo filtros	\$ 7.273	\$ 6.505	\$ 1.471	\$ 11.436	\$ 11.436
Costo aceite hidráulico	\$ 773	\$ 1.097	\$ -	\$ 1.928	\$ 1.928
Costo aceite transmisión	\$ 514	\$ 571	\$ 297	\$ 1.005	\$ 1.005
Costo grasa	\$ 163	\$ 194	\$ 100	\$ 341	\$ 341
Costo refrigerante	\$ 105	\$ 316	\$ 124	\$ 556	\$ 556
Costo mano de obra	\$ 3.512	\$ 4.198	\$ 808	\$ -	\$ 7.379
Costo por llantas	\$ -	\$ 17.356	\$ 5.692	\$ -	\$ -
Costo por piezas especiales	\$ 2.667	\$ 900	\$ -	\$ 45.645	\$ -
Total consumos:	\$ 65.788	\$ 57.648	\$ 59.666	\$ 184.395	\$ 209.880
Operador equipo	\$ 14.339	\$ 14.339	\$ 11.320	\$ 68.417	\$ -
Costo estadía día	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 61.538	\$ -
Costo transporte	\$ 769	\$ 769	\$ 769	\$ 12.308	\$ -
Costo alimentación	\$ 1.538	\$ 1.538	\$ 1.538	\$ 30.769	\$ -
Total costos operación:	\$ 16.646	\$ 16.646	\$ 13.628	\$ 173.033	\$ -
Costo horario (phm)	\$ 158.165	\$ 128.242	\$ 118.468	\$ 577.279	\$ 226.621
Total costo hora(phm)	\$ 158.165	\$ 128.242	\$ 118.468	\$ 577.279	\$ 226.621

El total de inversión de equipos que incluye una excavadora, un cargador Caterpillar, dos volquetas Mack, una trituradora Impacto, y un generador DSMO modelo D500US, tiene un costo de \$4.506.039.451 de pesos. Asimismo, se puede determinar el costo por hora de cada maquinaria, que será utilizado posteriormente para determinar el costo por tonelada producida por la cantera para la construcción del modelo matemático.

3.2.3.6 Proyección de costos por operación planta de triturado

La siguiente proyección se realizará con base al supuesto de que el rendimiento real de la trituradora será de 100 ton/ hora, con una relación de descapote en el cual el 100% se divide entre 80% material útil y 20% material estéril. Se laborará 25 días al mes, con un único turno laboral de 6,5 horas al día.

Tabla 12 . Análisis de costos total de tonelada por operación

Operación productiva	Equipo necesario	Costo (\$/hora	Rendim real (ton/hora	Requeri m real pro. (ton /hora	Factor de capacidad	Costo total (\$/ton
Arranque /cargue Mineral	Excavadora Caterpillar cat 330d2l	\$158.165	150	100	0,7	\$ 703
Arranque descapote	Excavadora Caterpillar cat 330d2l	\$158.165	150	20	0,1	\$ 141
Transporte descapote	Volqueta Mack GU 813 my2016	\$118.468	78	20	0,26	\$ 386
Adecuación descapote	Excavadora Caterpillar cat 330d2l	\$158.165	200	20	0,1	\$ 79
Transporte de material trituración	Volqueta Mack GU 813 my2016	\$118.468	78	100	1,3	\$1.513
Trituradora	Trituradora impacto chasis FRC	\$577.279	104	100	1,0	\$5.337
Cargue producto	Cargador Caterpillar cat 950gc	\$128.242	120	100	0,8	\$891

Fuente: Autores

La tabla No. 12, permite una descripción al respecto de los costos totales por operación (\$/tonelada) determinados desde el rendimiento real (ton/hora), que corresponde a la capacidad real de la maquinaria con base a la capacidad nominal, y el rendimiento real (ton/hora) proyectado fundamentado con los requerimientos del proyecto.

Para el caso de la operación de canteras de arranque/ cargue mineral que tiene como equipo requerido una excavadora Caterpillar cat 330d21, de \$158,165 la hora, tiene como resultado que su costo total de operación por tonelada de \$703 pesos.

Para una mejor comprensión se describen como fueron realizados estos cálculos:

El costo por hora: corresponde al encontrado en la tabla No. 12, Costos de operación del proceso de triturado, donde después de realizar toda la estructura de costos se determina cual es el costo hora por máquina utilizada.

El rendimiento real de capacidad de los equipos: se fundamenta en la capacidad estandarizada que tiene cada máquina al momento de ser fabricada.

El requerimiento real según proyecciones se encuentra entre el rendimiento real establecido en este caso que es de 120 (ton/hora) multiplicado entre la relación de descapote y su porcentaje estéril del 20%, con la excepción que para la operación de transporte y el arranque (cargue de mineral) se escoge la misma del rendimiento real establecido anteriormente 120 (ton/hora).

El factor de capacidad se encuentra dividiendo el rendimiento real proyectado de la máquina entre el rendimiento real de la máquina.

El costo total (\$/ton) se encuentra realizando la división del factor de capacidad multiplicado con el costo (\$/hora) de cada máquina descrito en la tabla No. 12, entre el rendimiento real (ton/hora) de los equipos.

3.2.3.7 Proyección de costo unitario tonelada

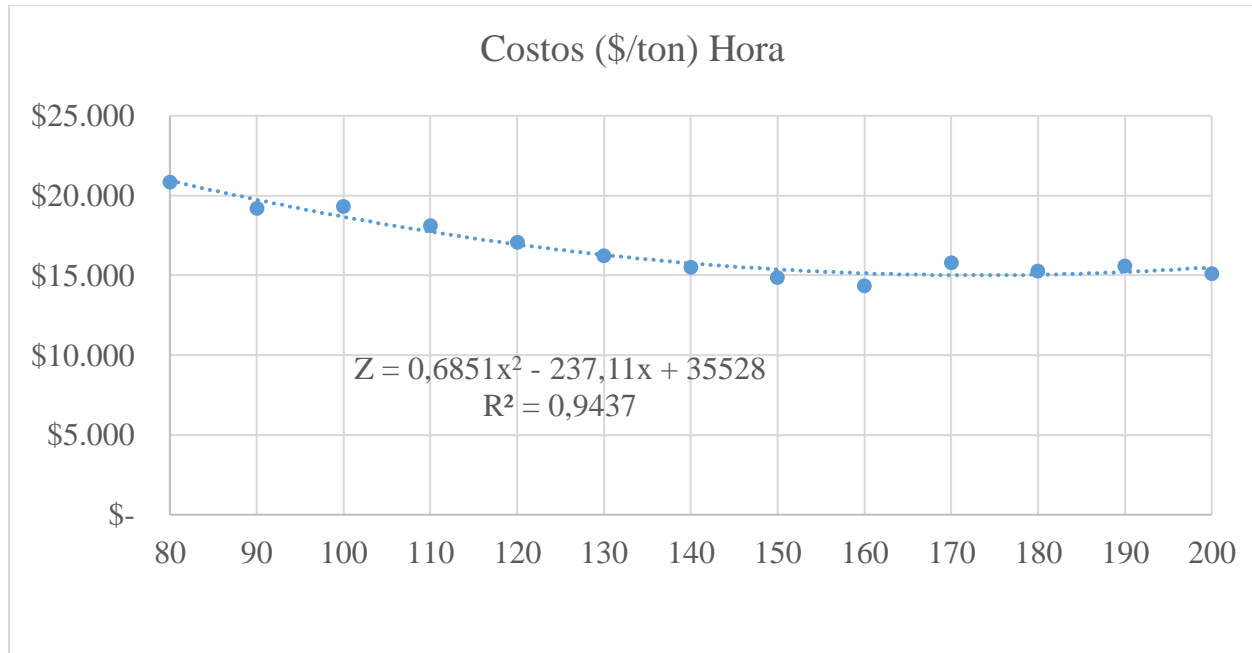


Gráfico No. 10 Análisis de costo operación planta de trituración(\$/ton) año 2.021

El gráfico No.10 se realiza con los datos de las capacidades de la planta de trituración con sus respectivos costos de operación de acuerdo con la Tabla 10 para el año 2.021, esta nos permite determinar una ecuación cuadrática, de los costos en función de la capacidad de la planta de trituración, que se utiliza el cálculo de la capacidad de la planta de trituración de acuerdo a cualquier nivel de producción entre 80 ton/h a 210 ton/h.

De igual manera se determinan las ecuaciones para los años 2022 al 2025 donde (Z) son los costos de operación de acuerdo a un nivel de producción (X) en toneladas por hora.

Año 2.021 $Z = 0,5895X^2 - 204,01X + 30569$

Año 2.022 $Z = 0,612X^2 - 211,82X + 31740$

Año 2.023 $Z = 0,6355X^2 - 219,94X + 32955$

Año 2.024 $Z = 0,6598X^2 - 228,36X + 34217$

Año 2.025 $Z = 0,6851X^2 - 237,11X + 35528$

3.2.3.8 Proyección de costo de inversión

El grafico 9, determina el numero de equipos necesarios para desarrollar tres intervalos de capacidad de operación entre 80 ton/hora y 200 ton/ hora, la siguiente tabla muestra el costo de los equipos necesarios para cada uno de estos niveles:

Tabla 13 . Costo de inversión de equipos de acuerdo a los requerimientos en los intervalos

	Numero de Equipos	Año 2.021
Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	1	\$ 822.171.000
Cargador Caterpillar CAT 950GC	1	\$ 643.938.750
Volqueta MACK GU 813 MY2016	1	\$ 501.942.000
Trituradora Impacto chasis FRC	1	\$ 2.608.060.685
		<u>\$ 4.576.112.435</u>

	Numero de Equipos	Año 2.021
Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	1	\$ 822.171.000
Cargador Caterpillar CAT 950GC	1	\$ 643.938.750
Volqueta MACK GU 813 MY2016	2	\$ 1.003.884.000
Trituradora Impacto chasis FRC	1	\$ 2.608.060.685
		<u>\$ 5.078.054.435</u>

	Numero de Equipos	Año 2.021
Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	2	\$ 1.644.342.000
Cargador Caterpillar CAT 950GC	1	\$ 643.938.750
Volqueta MACK GU 813 MY2016	3	\$ 1.505.826.000
Trituradora Impacto chasis FRC	1	\$ 2.608.060.685
		<u>\$ 6.402.167.435</u>

Fuente: Autores

El siguiente cuadro condensa la anterior información y la asocia con el grafico 9:

Tabla 14 . Tabla de niveles de inversión por intervalos de operación y pago anual de los equipos

Años	Intervalos (ton/hora)		
	80 - 110	111-160	161-200
Inversión	\$ 4.576.112.435	\$ 5.078.054.435	\$ 6.402.167.435
Pago anual	\$ 1.327.504.309,71	\$ 1.473.114.842	\$ 1.857.232.527

Del anterior grafico se puede observar que en para un nivel de operación en un rango entre 80 y 110 ton/hora , se deben realizar inversiones por un monto de \$4.576.112.435 , estos a su vez, se programa para pagos anuales a cinco años a un interés del 13.83% e.a. por un monto anual de \$ 1.327.504.309,71

Si tenemos presente que para un nivel de operación de 80 ton/hora para un horario de operación de 6,5 (horas /día) durante 25 (días/mes) en 1 año de operación de 12 meses , significa que se estarían produciendo 156.000 ton / año.

Ahora bien, \$ 1.327.504.309,71 invertidos en una operación que produce 156.000 ton / año o lo que es lo mismo (80 ton/hora) , tendría un costo de \$ 8.510 /ton.

El siguiente cuadro muestra el resultado de realizar esta misma operación para los inversiones realizadas para los niveles de operación entre 80 ton/hora y 200 ton/h.

Tabla 15 . Costos de inversión en función de la inversión de los equipos.

Tabla de Costos por rendimiento de los equipos						
	Ton/h	Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	Cargador Caterpillar CAT 950GC	Volqueta MACK GU 813 MY2016	Trituradora Impacto chasis FRC	Costo (\$/ton) Inversión
Intervalo 1	80	1	1	1	1	\$ 8.510
	90	1	1	1	1	\$ 7.564
	100	1	1	1	1	\$ 6.808
	110	1	1	1	1	\$ 6.189
Intervalo 2	120	1	1	2	1	\$ 6.295
	130	1	1	2	1	\$ 5.811
	140	1	1	2	1	\$ 5.396
	150	1	1	2	1	\$ 5.036
	160	1	1	2	1	\$ 4.722
Intervalo 3	170	2	1	3	1	\$ 5.603
	180	2	1	3	1	\$ 5.291
	190	2	1	3	1	\$ 5.013
	200	2	1	3	1	\$ 4.762

Fuente: Autores

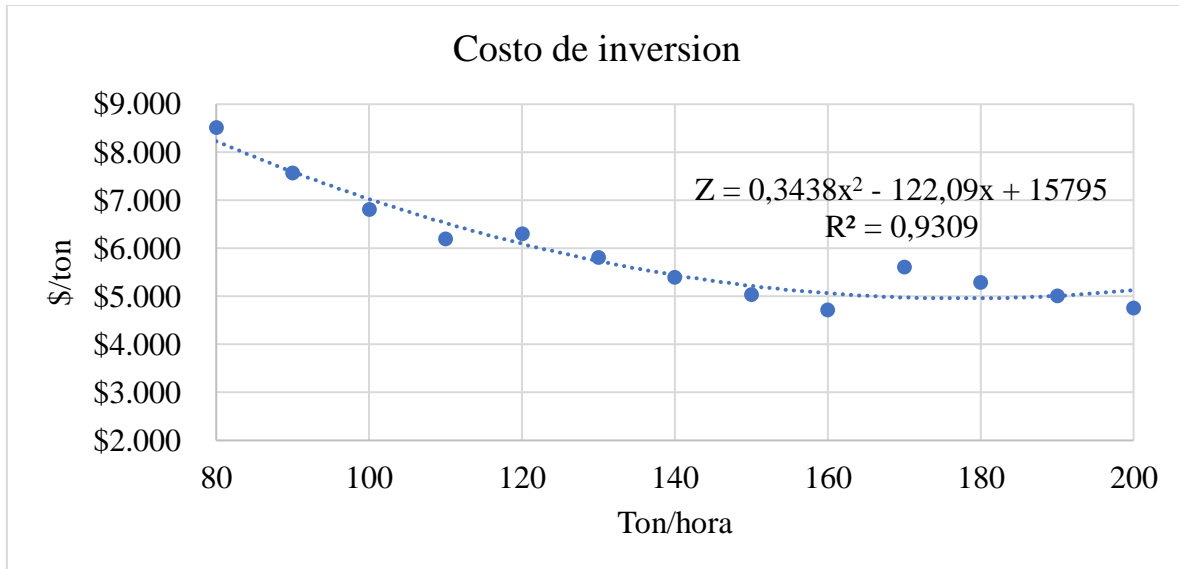


Gráfico No. 11 Costos de inversión

El gráfico No.11 se realiza con los datos de las capacidades de la planta de trituración con sus respectivos costos de inversión de acuerdo con la Tabla 15, esta nos permite determinar una ecuación cuadrática, de los costos en función de la capacidad de la planta de trituración de acuerdo a cualquier nivel de producción entre 80 ton/h a 210 ton/h.

$$Z = 0,3438 X^2 - 122,09 X + 15.795$$

En la ecuación anterior, (Z) son los costos de inversión de acuerdo a un nivel de producción (X) en toneladas por hora.

3.3 Desarrollo de Modelo de Optimización de la Capacidad Instalada del Proceso de Triturado y Clasificación

En esta etapa se desarrollará un modelo matemático de optimización de la capacidad instalada de la planta de triturado, para disminuir el porcentaje de dependencia de abastecimiento, con los proveedores externos de las materias primas Gravas ¾", Grava 3/8", y Arena Gruesa AG de la planta de concreto MULTILATINA en el municipio de GALAPA, de acuerdo con los costos de gravas y arenas a producir con la Planta de Triturado (PT) calculada. Para lo cual partimos del pronóstico de materia prima requerida por la planta de concreto (PC) durante los próximos 5 años.

Variables:

X_{ij} = Cantidad de toneladas de Gravas tipo i de origen j

Y_{ij} = Costo en pesos por tonelada de la Grava tipo i de origen j

Z_{ik} = Costo en pesos por toneladas de la Grava tipo i de la Planta de Triturado origen k

$i = 1, 2, 3$ 1: Gravas $\frac{3}{4}$ ", 2: Grava $\frac{3}{8}$ ", 3: Arena Gruesa AG, 4: Total Gravas y Arenas

$j = 1, 2$ 1: Planta de Triturado (PT), 2: Proveedores (P)

$k = 1, 2, 3$ 1: Operativo 2: Inversión, 3: materia prima

3.3.1 Definición de función objetivo del modelo de optimización

A continuación, se describe la ecuación principal que será optimizada y minimizada dadas las restricciones delimitadas.

3.3.2 Definición de variables del modelo de optimización

A continuación, se describen las variables referentes a las cantidades producidas por la trituradora en toneladas y compradas a los proveedores en toneladas.

Tabla 16 . Variables del modelo matemático

Variables	Descripción
Variables de cantidad de toneladas de gravas a producir en la trituradora	1) $X_{1,1}$ = Cantidad de grava de $\frac{3}{4}$ " en Toneladas por año a producir en la Tritradora
	2) $X_{2,1}$ = Cantidad de grava de $\frac{3}{8}$ " en Toneladas por año a producir en la Tritradora
	3) $X_{3,1}$ = Cantidad de arena gruesa (AG) en Toneladas por año a producir en la Tritradora
	4) $X_{4,1}$ = Cantidad Total de Gravas y Arenas en Toneladas producidas por la Planta de Trituración = $X_{1,1} + X_{2,1} + X_{3,1}$

	5) $X_{1,2}$ = Cantidad de grava de 3/4" en Toneladas por año a comprar a los proveedores
Variables de cantidad de toneladas de gravas a comprar a los proveedores	6) $X_{2,2}$ = Cantidad de grava de 3/8" en Toneladas por año a comprar a los proveedores
	7) $X_{3,2}$ = Cantidad de arena gruesa (AG) en Toneladas por año a comprar a los proveedores
	8) $X_{4,2}$ = Cantidad Total de Gravas y Arenas en Toneladas a comprar a los proveedores = $X_{1,2} + X_{2,2} + X_{3,2}$
	9) $Z_{1,1}$ = Costo Operación de la grava de 3/4" producida en la Trituradora
Costo operación trituradora	10) $Z_{2,1}$ = Costo Operación de la grava de 3/8" producida en la Trituradora
	11) $Z_{3,1}$ = Costo Operación de la arena gruesa de AG producida en la Trituradora
	12) $Z_{4,1}$ = Costo Total Operación de las Gravas y Arenas producida en la Trituradora = $Z_{1,1} + Z_{2,1} + Z_{3,1}$
	13) $Z_{1,2}$ = Costo Inversión de la grava de 3/4" producida en la Trituradora
Costo Inversión	14) $Z_{2,2}$ = Costo Inversión de la grava de 3/8" producida en la Trituradora
	15) $Z_{3,2}$ = Costo Inversión de la arena gruesa de AG producida en la Trituradora

Fuente: Autores

Las Variables de costos de Operación e Inversión están en función de la capacidad de la planta de trituración, como se determinó en la proyección de costo unitario tonelada y Costos de inversión en función de la inversión de los equipos

3.3.3 Parámetros y restricciones del Modelo de optimización

Se puede establecer con relación con la siguiente tabla No. 14, que los porcentajes de restricción de la planta de trituración fueron definidos con base a la información presentada en la tabla No. 8, donde se determinaron los porcentajes de producción proyectados por la planta de triturado, y asimismo las restricciones de la planta de concreto que corresponden a las proyecciones realizadas en la Tabla 10, donde se planearon los requerimientos de toneladas mes de materias primas Gravas $\frac{3}{4}$, Grava $\frac{3}{8}$, y Arena gruesa. Con relación a los costos que son restricción de la planta de triturado corresponden a los establecidos por los proveedores y su margen de ganancia.

Parámetros:

X_{ij} = Cantidad de toneladas de Gravas tipo i de origen j

Y_{ij} = Costo en pesos por tonelada de la Grava tipo i de origen j

Z_{ik} = Costo en pesos por toneladas de la Grava tipo i de la Planta de Triturado origen k

i = 1,2,3,4 1: Gravas $\frac{3}{4}$ ", 2: Grava $\frac{3}{8}$ ", 3: Arena Gruesa AG, 4: Total Gravas y Arenas

j= 2,3 2: Proveedores (P), 3: Planta de Concreto (PC)

k= 1,2,3 1:Operativo 2: Inversión 3:materia prima

Tabla 17 . Parámetros del Modelo Matemático

Parámetros	Descripción
Parámetros de cantidad de toneladas de gravas requerida por planta de concreto	1) $X_{1,3}$ = Cantidad de grava de $\frac{3}{4}$ " en Toneladas requeridas por la Planta de Concreto
	2) $X_{2,3}$ = Cantidad de grava de $\frac{3}{8}$ " en Toneladas requeridas por la Planta de Concreto
	3) $X_{3,3}$ = Cantidad de arena gruesa en Toneladas requeridas por la Planta de Concreto
	4) $X_{4,3}$ = Cantidad Total de Gravas y Arena Gruesa en Toneladas requeridas por la Planta de Concreto $= X_{1,3} + X_{2,3} + X_{3,3}$
Parámetros de costo materia prima	1) $Z_{1,3}$ = Costo Materia Prima de la grava de $\frac{3}{4}$ " producida en la Trituradora

Parámetros de costos de grava comprada a los proveedores	2) $Z_{2,3}$ = Costo Materia Prima de la grava de 3/8” producida en la Trituradora
	3) $Z_{3,3}$ = Costo Materia Prima de la arena gruesa de AG producida en la Trituradora
	1) $Y_{1,2}$ = Costo de la grava de 3/4” comprada a los proveedores
	2) $Y_{2,2}$ = Costo de la grava de 3/8” comprada a los proveedores
	3) $Y_{3,2}$ = Costo de arena gruesa de AG” comprada a los proveedores
	4) $Z_{4,2}$ = Costo total de las gravas y arena comprada sólo a los proveedores = $X_{1,2} * Y_{1,2} + X_{2,2} * Y_{2,2} + X_{3,2} * Y_{3,2}$
Fuente: Autores	

Tabla 18 . Función objetivo

Función objetivo Minimizar	Z_{43} = Costo total de las compras de gravas para la planta de concreto (\$)
$Z_{43} (\min) = (X_{1,1}) * (Z_{1,1} + Z_{1,2} + Z_{1,3}) + (X_{2,1}) * (Z_{2,1} + Z_{2,2} + Z_{2,3}) + (X_{3,1}) * (Z_{3,1} + Z_{3,2} + Z_{3,3}) + (X_{1,2} * Y_{1,2}) + (X_{2,2} * Y_{2,2}) + (X_{3,2} * Y_{3,2}) \quad (\$)$	

Fuente: Autores

La función objetivo de este modelo matemático, minimiza el costo de compra de materias primas por parte de la planta de concreto en un lapso de un año, dichas materias primas provienen tanto de proveedores externos como también las producidas por la planta de trituración; aquí cada costo esta compuesto por la cantidad requerida de cada materia prima que esta a su vez asociada a los costos ya sea de los proveedores, como también a la sumatoria de costos asociados a la producción de estos por una planta de trituración que son los costos de inversión, operación y materias primas.

Tabla 19. Restricciones del modelo matemático

Restricciones	Definición
Producción de trituradora	
1) $X_{1,1} = 26\% * X_{4,1}$ (ton)	La trituradora debe producir el 26% de grava $\frac{3}{4}$ para no generar excesos y sobrecostos.
2) $X_{2,1} = 9\% * X_{4,1}$ (ton)	La trituradora debe producir el 9% de grava $\frac{3}{8}$ para no generar excesos y sobrecostos.
3) $X_{3,1} = 65\% * X_{4,1}$ (ton)	La trituradora debe producir el 65% de arena gruesa para no generar excesos y sobrecostos.
4) $X_{4,1} \geq X_{4,2}$	La cantidad total de la planta de Triturado a producir debe ser por lo menos mayor que la cantidad total a comprar a los proveedores.
Planta de concreto	
1) $X_{1,3} = 47\% * X_{4,3}$ (ton)	La planta de concreto requiere del total de sus materias primas el 47% de grava de $\frac{3}{4}$
2) $X_{2,3} = 6\% * X_{4,3}$ (ton)	La planta de concreto requiere del total de sus materias primas el 6% de grava de $\frac{3}{8}$
3) $X_{3,3} = 47\% * X_{4,3}$ (ton)	La planta de concreto requiere del total de sus materias primas el 47% de arena gruesa
Variables	
1) $X_{ij} \geq 0$ (ton) , $Y_{ij} \geq 0$ (\$/ton) $Z_{i,K} \geq 0$ (\$/ton)	

Fuente: Autores

En esta etapa se construyeron los componentes más importantes para el desarrollo del modelo matemático de optimización, como es la función objetivos que se refiere a la ecuación que será optimizada debido a las limitaciones o restricciones determinadas y con variables que requieren ser en este caso minimizadas usando técnicas de programación no lineal.

3.4 Resolución del Modelo Matemático de optimización

Para la resolución del modelo se requiere, la cantidad de materia prima de la planta de Concreto del pronóstico del año $Z_{4,3}$ Gráfico No. 12 y los costos de compra a los proveedores $Y_{1,2}$, $Y_{2,2}$, $Y_{3,3}$.

Utilizando la Herramienta de Excel Solver, se coloca la función objetivo, las restricciones y la variables a determinar la solución optima.

Las variables de Costos $Z_{1,1}$, $Z_{2,1}$, $Z_{3,2}$, $Z_{1,2}$, $Z_{2,2}$, $Z_{3,2}$ están en función de ecuaciones cuadráticas, de la capacidad resultante de la planta de triturado, cuando se resuelve el modelo matemático.

La aplicación del modelo matemático se va a realizar para cada uno de los 5 años, para determinar la capacidad de la planta de triturado que se requiera, para minimizar los costo de compra de la materia prima gravas y arena de la planta de concreto.

3.4.1 Modelo de optimización con base al promedio proyectado de demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021 a 2025

Tabla 2020 . Modelo de optimización pronóstico promedio (ton/año) materias primas 2021-2025

	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,3}$	Función objetivo
Valor final	62.943	21.788	157.356	107.728	-	13.314	
Costos	\$25.800	\$25.800	\$25.800	\$41.899	\$34.916	\$25.605	\$ 11.100.477. 200

Se establece con base a la Tabla No. 20, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 62.943 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 21.788 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 157.356 arena gruesa, una suma total de 211.627 ton/año, 20.174 ton/mes, 807 ton/día, y 124 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir.

Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 107.728 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 13.314 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$11.100.477.200 millones de pesos.

3.4.2 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021

Tabla 2121 . Resultados del modelo de optimización pronóstico (ton/año) materias año 2021

	X_{1,1}	X_{2,1}	X_{3,1}	X_{1,2}	X_{2,2}	X_{3,3}	Función objetivo
Valor final	55.023	19.046	137.557	94.173	-	11.639	
Costos	\$26.956	\$26.956	\$26.956	\$38.810	\$32.342	\$23.717	\$ 9.635.665.766

Se establece con base a la Tabla No. 21, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 55.023 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 19.046 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 137.557 arena gruesa, una suma total de 211.627 ton/año, 17.636 ton/mes, 705 ton/día, y 109 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir.

Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 94.173 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 11.639 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$9.635.665.766 millones de pesos.

3.4.3 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2023

Tabla 2222 . Resultados del modelo de optimización pronóstico (ton/año) materias año 2022

	X_{1,1}	X_{2,1}	X_{3,1}	X_{1,2}	X_{2,2}	X_{3,3}	Función objetivo
Valor final	58.983	20.417	147.457	100.951	-	12.476	

Costos	\$26.614	\$26.614	\$26.614	\$42.297	\$33.581	\$24.626	\$10.412.846.897
--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------------

Se establece con base a la Tabla No. 22, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 58.983 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 20.417 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 147.457 arena gruesa, una suma total de 226.857 ton/año, 18.905 ton/mes, 756 ton/día, y 116 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir. Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 100.951 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 12.477 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$10.412.846.897 millones de pesos.

3.4.4 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2023

Tabla 2323 . Resultados del modelo de optimización pronostico (ton/año) materias año 2023

	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,3}	Función objetivo
Valor final	62.943	21.788	157.358	107.728	-	13.314	
Costos	\$26.369	\$26.369	\$26.369	\$41.840	\$34.867	\$25.569	\$11.231.402.701

Se establece con base a la Tabla No. 23, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 62.943 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 21.788 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 157.358 arena gruesa, una suma total de 242.087 ton/año, 20.174 ton/mes, 807 ton/día, y 124 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir. Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 107.728 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 13.314 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$11.231.402.701 millones de pesos.

3.4.5 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2024

Tabla 2424 . Resultados del modelo de optimización pronostico (ton/año) materias año 2024

	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,3}$	Función objetivo
Valor final	66.903	23.158	167.256	114.505	0	14.152	
Costos	\$26.229	\$26.229	\$26.229	\$43.443	\$36.202	\$26.548	\$12.099.295.830

Se establece con base a la Tabla No. 24, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 66.903 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 23.158 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 167.256 arena gruesa, una suma total de 257.317 ton/año, 21.443 ton/mes, 858 ton/día, y 132 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir. Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 114.505 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 14.152 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$12.099.295.830 millones de pesos.

3.4.6 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2025

Tabla 2525 . Resultados del modelo de optimización pronostico (ton/año) materias año 2025

	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,3}$	Función objetivo
Valor					-		
final	70.862	24.529	177.156	121.283		14.989	

Costos	\$26.202	\$26.202	\$26.202	\$45.107	\$37.589	\$27.565	\$13.025.202.545
--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------------

Fuente: Autores

Se establece con base a la Tabla No. 25, que las cantidades requeridas por la planta para el cumplimiento de las restricciones y la demandas pronosticada a mínimo coste es de 70.862 toneladas de gravas $\frac{3}{4}$, 24.529 toneladas de grava $\frac{3}{8}$, 177.156 arena gruesa, una suma total de 272.547 ton/año, 22.712 ton/mes, 908 ton/día, y 140 ton/hora siendo esta última cifra la capacidad instalada óptima para la trituradora de la cantera que se debe adquirir. Asimismo, con relación a los requerimientos faltantes por la planta de triturado se debe comprar anualmente a los proveedores 121.283 toneladas de grava $\frac{3}{4}$, y 14.989 toneladas de Arena gruesa. La suma de los costos de operación del proceso de triturado para la adquisición propia de los materiales y los costos de compra a proveedores da un costo global de \$13.025.202.545 millones de pesos.

3.4 Capacidad requerida por la planta de triturado determinada por el modelo de optimización.

La capacidad determinada por el promedio de los requerimientos de materiales de la planta de concreto es de 140 toneladas. Para esto se selecciona como mejor alternativa la trituradora TELSMITH 38 SBS en circuito cerrado.



Grafico No. 13 Trituradora TELSMITH 38 SBS

Esta trituradora tiene una capacidad entre 104 y 140 toneladas por hora, esta maquinaria permite completa operaciones con la más alta productividad, confiabilidad excepcional y al menor costo de toneladas, principalmente porque están diseñadas para materiales de alimentación grandes y gruesos, ideales para posiciones de circuito secundarias y terciarios en minería, agregados y producción de piedra triturada tamaño máximo de alimentación 7” a 14”, rango de rendimiento 81 a 908 mtph, y rango de potencia 200 a 600.

3.5 Evaluación financiera resultados del modelo de optimización

En esta etapa se realizará la evaluación financiera de los resultados logrados del modelo de optimización:

- 1) el primer paso será el análisis de los costos de los materiales requeridos por la planta de concreto comprado directamente a los proveedores.

Tabla 2626 Costo de materiales con proveedores

Año	X _{4,2}	Z _{4,2}
2021	317.439	\$ 9.944.927.328
2022	340.284	\$ 11.068.930.086
2023	363.129	\$ 12.264.443.340
2024	385.974	\$ 13.535.296.008
2025	408.819	\$ 14.885.505.400

En la Tabla No. 26 se describe que para los requerimientos de materiales de la planta de concreto para el año 2021, 317.439 toneladas si fueran compradas directamente a los proveedores tendría un costo de \$9.944.927.328, para el año 2022, 340,284 toneladas seria \$11.068.930.086 millones de pesos, año 2023, 363,129 toneladas, seria \$12.264.443.340, año 2024, 385.974 toneladas \$13.535.296.008, y para el año 2025, 408.819 toneladas \$14.885.505.400 millones de pesos. Estos costos corresponden al supuesto de que se continuará con una dependencia del 100% a los proveedores.

- 2) El segundo paso será el análisis de los costos y cantidad en toneladas de materiales requeridos por la planta de concreto proyectados según el modelo matemático de optimización, que responde a las restricciones de producción y capacidad.

Tabla 27 Costos (\$/ton) y cantidad (ton) de materiales de planta de concreto

	X _{4,3}	X _{4,1}	X _{4,2}	Z _{4,3}	Z _{4,1}	Z _{4,2}
2021	317.439	211.626	105.812	\$ 9.635.665.766	\$5.704.714.560	\$ 3.930.951.206
2022	340.284	226.857	113.427	\$10.412.846.897	\$ 6.037.609.146	\$ 4.375.237.751
2023	363.129	242.087	121.042	\$ 11.231.402.701	\$ 6.383.612.039	\$ 4.847.790.662
2024	385.974	257.317	128.657	\$ 12.099.295.830	\$6.749.174.632	\$ 5.350.121.199
2025	408.819	272.547	136.272	\$ 13.025.202.545	\$7.141.379.340	\$ 5.883.823.205

En la tabla No. 27 se describe los costos (\$/ton) y cantidades (ton) de materiales requeridos por la planta de concreto y como estos serán adquiridos (proveedores) y producidos (planta de triturado y clasificación) con base a los resultados del modelo de optimización matemático. Para una mejor comprensión de los resultados del modelo se describe:

En el año 2021, la proyección de la demanda de la planta de concreto es de 317,439 toneladas, los cuales serán distribuidos entre 211.627 que se producirán por la planta de triturado con un costo de \$5.704.714.560 y 105.812 que serán comprados a proveedores \$3.930.951.206 para un total de \$9.635.665.766

En el año 2022: la proyección de la demanda de la planta de concreto es de 340.284 toneladas, los cuales serán distribuidos entre 226.857 que se producirán por la planta de triturado con un costo de \$6.037.609.146 y 113.427 que serán comprados a proveedores \$4.375.237.751 para un total de \$10.412.846.897

En el año 2023: la proyección de la demanda de la planta de concreto es de 363.129 toneladas, los cuales serán distribuidos entre 242.087 que se producirán por la planta de triturado con un costo de \$6.383.612.039 y 121.042 que serán comprados a proveedores \$4.847.790.662 para un total de \$11.231.402.701

En el año 2024: la proyección de la demanda de la planta de concreto es de 385.974 toneladas, los cuales serán distribuidos entre 257.317 que se producirán por la planta de triturado con un costo de \$6.749.174.632 y 128.657 toneladas que serán compradas a proveedores \$5.350.121.199 para un total de \$12.099.295.830

En el año 2025: la proyección de la demanda de la planta de concreto es de 408.819 toneladas, los cuales serán distribuidos entre 272.547 que se producirán por la planta de triturado con un costo e \$7.141.379.340 y 136.272 que serán comprados a proveedores \$5.883.855.449 para un total de \$13.025.202.545

- 3) El tercer paso será el análisis del ahorro proyectado: Planta de triturado vs Proveedores permitiendo comprender cuál es el porcentaje esperado al momento de la implementación de este modelo de optimización matemático

Tabla 28. Análisis del ahorro proyectado

Año	X _{4,3}	Z _{4,3} sin Planta Triturado	Z _{4,3} con Planta de Triturado	Costo Anual pago de Inversión	Ahorro
		Inversion			-
					\$5.078.054.435
2021	317.439	\$9.944.927.328	\$9.635.665.766	\$1.473.114.842	\$1.782.376.404
2022	340.284	\$11.068.930.086	\$10.412.846.897	\$1.473.114.842	\$2.129.198.031
2023	363.129	\$12.264.443.340	\$11.231.402.701	\$1.473.114.842	\$2.506.155.481
2024	385.974	\$13.535.296.008	\$12.099.295.830	\$1.473.114.842	\$2.909.115.019
2025	408.819	\$14.885.505.400	\$13.025.202.545	\$1.473.114.842	\$3.333.417.697

La Tabla No. 28, permite comprender cuál es el ahorro alcanzado con base a la relación del costo de inversión total de la planta trituradora \$5.078.054.435 y al costo de compra de materias primas con los proveedores, estableciéndose que por ejemplo para el año 2021, se tiene una diferencia u ahorro de \$1.782.376.404 de millones, año 2022, un ahorro de 2.129.198.031, año 2023, un ahorro del \$2.506.155.481, año 2024, \$2.909.115.019 y año 2025, \$3.333.417.697.



Gráfico No. 14 Ahorro alcanzado con la planta de triturado 2021-2025

Es importante recalcar que estos ahorros alcanzados, con base a la compra de materias primas es un beneficio que involucra toda la cadena de valor y que además impulsa a una mayor rentabilidad del proceso productivo, que puede convertirse en una ventaja competitiva si es correctamente gestionada.

El cálculo de la VAN de estos ahorros es de \$ 3.776.253.900 y TIR es del 35.47%

3.5.1 Análisis de rentabilidad financiera de los resultados

La evaluación financiera del proyecto desde el punto de vista del ahorro que se obtiene en cada uno de los 5 años, en que se producirían las gravas de ¾", 3/8" y AG es satisfactorio ya que está por encima del 18%, lo que sugiere que este ahorro se convertirá para la planta de concreto en una utilidad. No obstante, también se hace una evaluación de la VAN teniendo, llevando estos ahorros a valor presente con una tasa del 13.83% e.a., obteniendo un valor positivo de \$ 3.776.253.900 lo cual indica que el proyecto es viable. También se hace un cálculo de la TIR con un valor del 35.47% el cual es mucho mayor que la tasa del 13.83%, indicando la viabilidad del proyecto.

La evaluación financiera del proyecto de acuerdo con el cálculo de los ahorros, la VAN y la TIR, que se obtuvieron a partir de determinar la capacidad de la planta de trituración para satisfacer la demanda de gravas y arena gruesa durante los próximos 5 años representa para la empresa Multilatina un gran proyecto de inversión que ayuda a resolver los problemas de abastecimiento

de las materias primas gravas de 3/4", 3/8" y AG, mejora la calidad, productividad y eficiencia de los procesos de la planta de concreto y la satisfacción de los clientes.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones de la determinación de la capacidad de la planta

Se establecen como conclusiones que el desarrollo del marco referencial fue fundamental para la identificación de las herramientas conceptuales, teóricas y legales de la problemática planteada, donde se dieron como resultados la selección de la programación no lineal como herramienta de trabajo hacia la estructuración de un modelo de optimización matemático para determinar la capacidad instalada de una planta de triturado.

La caracterización del proceso de trituración y clasificación permitió identificar las variables y restricciones más importantes de las operaciones realizadas en el proceso de trituración y clasificado para la obtención de los materiales demandados por la planta de concreto. Información que sirvió como base para la construcción del modelo de optimización.

Por medio de la aplicación de la programación no lineal y resolución por medio del método matemático de GRG Nonlinear, bajo el fundamento de encontrar la capacidad optima de la planta de triturado (140 ton/hora) , se logró dar cumplimiento a una función objetivo de costos que tienden al acatamiento de las especificaciones de cantidad de los productos y a las propias restricciones del modelo, donde la confiabilidad de los resultados obedeció de la caracterización previa, las proyecciones realizadas con base en los métodos de regresión lineal, muestro del proceso y fuentes de información primarias y secundarias.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo viabilizan el montaje de una planta de triturados que abastezca de gravas y arenas la planta de concreto, debido a que garantizan el abastecimiento de estos tres materiales en un mínimo de dos terceras partes del total del suministro anual, lo que significa que la planta de concreto dejaría de depender en un 100% de los proveedores lo que se traduce en un mejor servicio para los clientes debido que el proceso productivo se vuelve más eficiente.

Se propone la instalación de una planta propia de trituración propia, debido a que aparte de garantizar suministro, garantiza que la calidad de los materiales no tenga variabilidad, lo que significa que los clientes obtendrían un concreto de características similares y constantes.

La importancia de determinar la capacidad de una planta de trituración adecuada a las necesidades de abastecimiento de la planta de concreto durante los cinco años de operación, radica en el hecho de que se debe evitar al máximo realizar adquisición de equipos innecesarios que tienen un alto costo de inversión inicial, pero que a su vez, produzcan los materiales requeridos a los menores costos, para lo cual, concluimos en el presente trabajo que la trituradora óptima debe tener una capacidad de producción en un rango entre 109 t/h y 140 t/h.

		X ¾" T	X 3/8" T	X AG T	X ¾" P	X 3/8" P	X AG P	FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	Nivel de Operación (t/h)
Año 2021	VALOR FINAL	55,023	19,046	137,557	94,173	-	11,639	\$ 9,635,665,766	109
	COSTOS	\$ 26,956	\$ 26,956	\$ 26,956	\$ 38,810	\$ 32,342	\$ 23,717		
Año 2022	VALOR FINAL	58,983	20,417	147,457	100,951	0	12,476	\$ 10,412,846,897	116
	COSTOS	\$ 26,614	\$ 26,614	\$ 26,614	\$ 40,297	\$ 33,581	\$ 24,626		
Año 2023	VALOR FINAL	62,943	21,788	157,356	107,728	-	13,314	\$ 11,231,402,701	124
	COSTOS	\$ 26,369	\$ 26,369	\$ 26,369	\$ 41,840	\$ 34,867	\$ 25,569		
Año 2024	VALOR FINAL	66,903	23,158	167,256	114,505	-	14,152	\$ 12,099,295,830	132
	COSTOS	\$ 26,229	\$ 26,229	\$ 26,229	\$ 43,443	\$ 36,202	\$ 26,548		
Año 2025	VALOR FINAL	70,862	24,529	177,156	121,283	-	14,989	\$ 13,025,202,545	140
	COSTOS	\$ 26,202	\$ 26,202	\$ 26,202	\$ 45,107	\$ 37,589	\$ 27,565		

Gráfico No. 15 Resultado de la capacidad de la planta de triturado para los años 2021-2025, de acuerdo al modelo matemático

Se concluye que es indispensable seguir comprando a los proveedores, debido a que la cantera por sus características, no es capaz de suministrar económicamente el 100% de los materiales necesarios, sin embargo, comercialmente es necesario conservarlos ya que estos apoyarían eventualmente el suministro sobre todo en eventos que se presenten problemas técnicos en la planta de trituración y se mantendrían relaciones comerciales con empresas que a su vez tienen relaciones comerciales con la competencia.

4.2 Recomendaciones

Luego de haber definido las conclusiones de esta investigación, se recomienda para la empresa lo siguiente:

- Actualizar los costos, cantidades y demás información referente a las proyecciones, en caso de que la propuesta de la planta de trituración y clasificación no sea implementada en el próximo año (2021), principalmente porque existen variables como el IPP, el IVA, costos de maquinaria, demanda, costos de proveedores, entre otros, que se pueden alterar y generar permutaciones en los resultados esperados.
- Aplicar el modelo de optimización matemático de la capacidad instalada de una planta de triturado, previa actualización del escenario real, donde se contemple la comparación de los resultados descritos en este proyecto con los de simulación de la dinámica de otros programas y sistemas.
- Desarrollar un conjunto de indicadores como cumplimiento de materias primas a planta de concreto, cumplimiento con los requisitos de calidad, nivel de respuesta a la variabilidad de la demanda, cumplimiento de costos, como herramientas de seguimiento y control para la evaluación y actualización de este modelo de optimización para la capacidad instalada de la planta de concreto.
- Integrar el grupo de profesionales de ingeniería con los que cuenta la planta de concreto para lograr mayor viabilidad a la implementación y eficiencia en el desarrollo de esta propuesta productiva compañía, fundamentado en que la experiencia y los conocimientos al ser compartidos pueden lograr óptimos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aronson, J., Renison, D., Rangel-Ch, J. O., Levy-Tacher, S., Ovalle, C., & Del Pozo, A. (2007). Restauración del Capital Natural: sin reservas no hay bienes ni servicios. *Revista Ecosistemas*, 16(3).
- Castro Silva, H. F., Diez-Silva, H. M., & Quijano Brand, L. F. (2013). Plan de gestión de costos en dirección de proyectos. Aplicación en una empresa del sector minero-industrial de Colombia. *Revista EAN*(74), 10-19.
- Cho, G. (2011). Un algoritmo de punto interior para la optimización lineal basado en una nueva función de barrera. *Matemáticas aplicadas y computación*, 218(2), 386-395.
- Congreso de colombia. (1969). Bogota: Funcion publica.
- Congreso de Colombia. (22 de 12 de 1993). Obtenido de Ley 99 de 1993: https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf
- Cottle, R. W. (2006). George B. Dantzig: una vida legendaria en la programación matemática. *Programación matemática*, 105(1), 1-8.
- Escobar , S. (2013). *Materiales de construccion para edificacion y obra civil* . Editorial Club Universitario.
- Espinosa, S. (2010). *Los proyectos de inversion: evaluacion financiera*. Mexico: Editorial Tecnologica de CR.
- García, V., & Rodrigo, J. (1999). *Evaluación de opciones de producción comercializables: uso de la programación lineal con pequeños productores de laderas*.
- Gregori, V. G., & Sala, B. R. (2015). *Errores, optimización y resolución numérica de sistemas*. . Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- ICONTEC. (21 de 06 de 2000). Obtenido de NTC 174: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf>
- Jiménez, B., & Tejada, J. (2007). *Procesos y métodos de investigación*. J. Tejada y V. Giménez (coords.), *Formación de formadores. Escenario institucional*. . Madrid: Ites-Paraninfo.
- Karmarkar, N. (1984). Nuevo algoritmo de tiempo poynomial para la programación lineal. *Combinatorica*, 04(04), 373-395.

- Khachiyan, L. (1982). Sobre la solución exacta de sistemas de desigualdades lineales y problemas de programación lineal. *URSS Matemática computacional y física matemática*, 22(4), 239-242.
- Kim, M. L., & Y. Cho, G. (2009). Un algoritmo de punto interior primaldual de pasos adaptativos para la optimización lineal. *Análisis no lineal*, 71, 2305-2315.
- Linares, P., Ramos, A., Sánchez, P., Sarabia, Á., & Vitoriano, B. (2001). *Modelos matemáticos de optimización*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- López Noguero, F. (2009). *El analisis de contenido como metodo de investigacion*. Huelva: Universidad de Huelva.
- Ministerio de Minas. (19 de 01 de 2019). Obtenido de Explotacion de materiales de construccion: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/169095/EXPLOTACION+DE+MATERIALES.pdf/fc129902-1523-4764-9a05-755e3bb7896e>
- Ministerio de Minas y energía. (20 de 04 de 2010). Obtenido de Resolucion 40391 de 2010: http://www.nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/r_mme_40391_16.pdf
- Ministerio de Minas y energía. (03 de 11 de 2011). *Decreto 4131 de 2011*. Obtenido de Agencia nacional de Minería: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_4134_de_2011_0.pdf
- Ministerio de Minas y energía. (06 de 03 de 2014). *Agencia nacional de Minería*. Obtenido de Decreto 480 de 2014: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_480_de_2014.pdf
- Ministerio de Minas y energía. (17 de 02 de 2015). *Decreto No. 0276 del 2015*. Obtenido de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%20276%20DEL%2017%20DE%20FEBRERO%20DE%202015.pdf>
- Ministerio de Minas y energía. (26 de 05 de 2015). *Ministerio de Minas y energía*. Obtenido de Decreto No. 1073 de 2015: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/170046/Decreto+%F2nico+Reglamentario+Sector+Minas+y+Energ%92a.pdf/8f19ed1d-16a0-4a09-8213-ae612e424392>
- Ministerio de Minas y Energía. (02 de 11 de 2018). Obtenido de Explotacion de materiales de contruccion canteras y material de arrastre: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/169095/EXPLOTACION+DE+MATERIALES.pdf/fc129902-1523-4764-9a05-755e3bb7896e>

- Mizuno, S. (1994). Un algoritmo de punto interior no predecible-corrector para la programación lineal. *Operations Research Letters*, 16(2), 61-66.
- Morillo, M. (2001). Rentabilidad financiera y reducción de costos. *Actualidad contable FACES*, 4(4).
- Naseri, R., & Valinejad, A. (2007). Una variante extendida del algoritmo de punto interior de Karmarkar. *Matemáticas aplicadas y computación*, 184, 737-742.
- Norman, D., & Curet, N. (1993). Un método simplex primitivo-dual para programas lineales. *Operations Research Letters*, 13(4), 233-237.
- Pan, P. (2000). Un algoritmo Simplex proyectivo que usa la descomposición de LU. *Computadoras y matemáticas con aplicaciones*, 39, 187-208.
- Polimeni, R. S., & Lopetegui, G. E. (1994). *Contabilidad de costos (No. HF5686. C66 1994.)*. McGraw-Hill.
- Powell, M. J. (1993). Sobre el número de iteraciones del algoritmo de Karmarkar para la programación lineal. *Programación matemática*, 62, 153-197.
- Raigada, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1-42.
- Ramos, G. P. (2003). Capacidad Óptima De Plantas Industriales. *Revista de Ingeniería*(18), 148-155.
- República, C. d. (15 de 08 de 2001). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*. Obtenido de Ley 685 de 2001: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf
- Suin Juriscol. (03 de 11 de 2011). Obtenido de Decreto 4134 de 2011 : <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1542244>
- Torres, D. (2015). *Implementacion del control interno de inventarios para el sector droguista*. Bogota: UMNG.
- Multilatina. (25 de 06 de 2019). Obtenido de ¿Quienes somos?: https://www.Multilatina.co/quienes_somos/
- Urbina, B. (2013). *Evaluación de proyectos*. McGraw Hill.
- Vasquez, J. P., Cárdenas, D. C., Carrillo, M. G., & Rosero, C. H. (2015). Modelo de programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(2).
- Vera, S. V. (2000). *Optimización y Modelos para la Gestión*.

Zhang, L., & Xu, Y. (2011). Un algoritmo de punto interior de paso completo de Newton basado en la dirección de Newton modificada. *Operations Research Letters*, 39, 318-322.

ANEXOS

Anexo No. 1 Cálculo de costos de operación planta de triturado y clasificación

NOMBRE DEL PROYECTO:		PT										
Rendimiento real (ton/hora):		100										
Relación de Descapote		Esteril: 20	0,2									
		Material: 100										
Turnos de Producción		Horas Efectivas (h/día):	Mes de producción (día/mes)	Requ MATERIAL Bruto (Ton/mes)	Requ Grava Bruto (m³/mes)	Requ Grava Bruto (m³/año)	Densidad Material Banco (ton/m3)	Costo Combustible (\$/gal)	Cargue Stock Bruto			
1		6,5	25	16250	10833	130000	1,5	\$ 8.500	10%			
OPERACIÓN PRODUCTIVA		OPERACIÓN VOLQUETAS					Equipo Necesario	Costo (\$/hora)	Rendim Nominal (ton/hora)	Rendim Real (ton/hora)	Requerim Real (ton/hora)	Factor de Capacidad
		Distancia A-B (km)	Vel Prom Acarreo (km/hora)	Capacid de Cargue (ton)	Rendimiento (Viajes/hora)	Duración ciclo (min)						
CANTERAS	Arranque Mineral						Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	\$ 158.165	250	200	100	0,5
	Arranque Descapote						Excavadora Caterpillar CAT 330D2L	\$ 158.165	250	200	20	0,1
	Cargue Mineral							\$ -	250	200		0,0
	Riego Vías							\$ -		0		0,0
	Transp Descapote	1	21	22,5	4,4	0:13:47	Volqueta MACK GU 813 MY2016	\$ 118.468	98	78	20	0,26
Adecuación Esteril						Excavadora KOMATSU PC350LC-5	\$ 175.440	250	200	20	0,1	
TRANSPORTE	Transp de Grav a Trituración	1	21	22,5	4,4	0:13:47	Volqueta MACK GU 813 MY2016	\$ 118.468	98	78	100	1,3
TRITURACIÓN	Cargue Stock Bruto						Cargador Caterpillar CAT 950GC	\$ 128.242	250	200	10	0,1
	TRITURADORA						Trituradora Impacto chasis FRC	\$ 577.279	250	200	100	0,5
	Cargue Producto						Cargador KOMATSU WA320-6	\$ 123.745	250	200	0	0,0
	Planta Eléctrica							\$ -	250	200	100	0,0
	CLARIFICADOR			\$ -	0	0	0					
CENTROS DE ACOPIO	Transporte a Centros de Acopio	0,5	21	22,5	5,5	0:10:54	Volqueta MACK GU 813 MY2016	\$ 118.468	124	99		0,0
	Adecuación centros de Acopio							\$ -	250	200	0	0,0
PISCINAS DE LODOS	Transporte de LODOS	0,5	21	22,5	5,5	0:10:54	Volqueta MACK GU 813 MY2016	\$ 118.468	124	99		0,0
	Adecuación Piscinas de Lodos							\$ -	250	125	0	0,0
Proceso Humedo												
EQUIPOS A UTILIZAR								Costo Unitario (\$/ton)				
Excavadoras								1	\$ 2.480			
Cargadores								1	\$ 2.011			
Equipo de Trit								1	\$ 9.051			
Volquetas								1	\$ 3.715			
Total:								\$ 17.256				

Anexo No. 2 Modelo de optimización con base al promedio proyectado de demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021 a 2025

X _{4,3}	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}	PRONOSTICO 5 AÑOS			
TONELADAS	170.671	21.788	170.671	363.129	TON/AÑO		
PORCENTAJES	47%	6%	47%				
COSTO OPERACIONES	Z _{1,1}	Z _{2,1}	Z _{3,1}				
\$/TONELADAS	\$ 14.876	\$ 14.876	\$ 14.876				
COSTO INVERSION	Z _{1,2}	Z _{2,2}	Z _{3,2}				
\$/TONELADAS	\$ 5.924	\$ 5.924	\$ 5.924				
COSTO PROVEEDORES	Y _{1,2}	Y _{2,2}	Y _{3,2}				
\$/TONELADAS	\$ 41.899	\$ 34.916	\$ 25.605				
COSTO MATERIA PRIMA	Z _{1,3}	Z _{2,3}	Z _{3,3}				
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000				
FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO							
VALOR FINAL	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}	Z _{4,3} (min)
COSTOS	62.943	21.788	157.356	107.728	-	13.314	
	\$ 25.800	\$ 25.800	\$ 25.800	\$ 41.899	\$ 34.916	\$ 25.605	\$ 11.100.477.200
				Restricciones de compra (%)	X _{1,3}	170.671 =	170.671
					X _{2,3}	21.788 =	21.788
					X _{3,3}	170.671 =	170.671
				Restricciones produccion trituradora	X _{4,1} = 26% *X _{4,1}	26% =	26%
					X _{2,1} = 9* X _{4,1}	9% =	9%
					X _{3,1} = 65% *X _{4,1}	65% =	65%
X _{4,1}	242.087	TON/AÑO					
	20.174	TON/MES					
	807	TON/DIA					
	124	TON/H					
				Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	X _{4,1} ≥ X _{4,2}	242.087 ≥	121.042

Anexo No. 3 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2021

X _{4,3}	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}	PRONOSTICO 5 AÑOS				
TONELADAS	149.196	19.046	149.196	317.439		TON/AÑO		
PORCENTAJES	47%	6%	47%					
COSTO OPERACIÓN	Z _{1,1}	Z _{2,1}	Z _{3,1}					
\$/TONELADAS	\$ 15.372	\$ 15.372	\$ 15.372					
COSTO INVERSION	Z _{1,2}	Z _{2,2}	Z _{3,2}					
\$/TONELADAS	\$ 6.585	\$ 6.585	\$ 6.585					
COSTO PROVEDORES	Y _{1,2}	Y _{2,2}	Y _{3,2}					
\$/TONELADAS	\$ 38.810	\$ 32.342	\$ 23.717					
COSTO MATERIA PRIMA	Z _{1,3}	Z _{2,3}	Z _{3,3}					
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000					
							FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	
VALOR FINAL	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}	Z _{4,3} (min)	
COSTOS	\$ 55.023	\$ 19.046	\$ 137.557	\$ 94.173	\$ -	\$ 11.639	\$ 9.635.665.766	
				Restricciones de compra (%)	X _{1,3}	149.196 =	149.196	
					X _{2,3}	19.046 =	19.046	
					X _{3,3}	149.196 =	149.196	
				Restricciones produccion trituradora	X _{1,1} = 26%*X _{4,1}	26% =	26%	
					X _{2,1} = 9*X _{4,1}	9% =	9%	
					X _{3,1} = 65%*X _{4,1}	65% =	65%	
X _{4,1}	211.627	TON/AÑO		Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	X _{4,1} ≥ X _{4,2}	211.627 ≥	105.812	
	17.636	TON/MES						
	705	TON/DIA						
	109	TON/H						

Anexo No. 4 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2022

$X_{4,3}$	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	PRONOSTICO 5 AÑOS				
TONELADAS	159.933	20.417	159.933	340.284	TON/AÑO			
PORCENTAJES	47%	6%	47%					
COSTO OPERACIÓN	$Z_{1,1}$	$Z_{2,1}$	$Z_{3,1}$					
\$/TONELADAS	\$ 15.380	\$ 15.380	\$ 15.380					
COSTO INVERSION	$Z_{1,2}$	$Z_{2,2}$	$Z_{3,2}$					
\$/TONELADAS	\$ 6.234	\$ 6.234	\$ 6.234					
COSTO PROVEDORES	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$	$Y_{3,2}$					
\$/TONELADAS	\$ 40.297	\$ 33.581	\$ 24.626					
COSTO MATERIA PRIMA	$Z_{1,3}$	$Z_{2,3}$	$Z_{3,3}$					
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000					
VALOR FINAL	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$	FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	
COSTOS	58.983	20.417	147.457	100.951	0	12.476	$Z_{4,3}(\min)$	
	\$ 26.614	\$ 26.614	\$ 26.614	\$ 40.297	\$ 33.581	\$ 24.626	\$	10.412.846.897
				Restricciones de compra (%)	$X_{1,3}$	159.933	=	159.933
					$X_{2,3}$	20.417	=	20.417
					$X_{3,3}$	159.933	=	159.933
				Restricciones produccion trituradora	$X_{1,1} = 26\% * X_{4,1}$	26%	=	26%
					$X_{2,1} = 9\% * X_{4,1}$	9%	=	9%
					$X_{3,1} = 65\% * X_{4,1}$	65%	=	65%
$X_{4,1}$	226.857	TON/AÑO		Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	$X_{4,1} \geq X_{4,2}$	226.857	\geq	113.427
	18.905	TON/MES						
	756	TON/DIA						
	116	TON/H						

Anexo No. 5 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2023

X _{4,3}	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}	PRONOSTICO 5 AÑOS					
TONELADAS	170.671	21.788	170.671	363.129			TON/AÑO		
PORCENTAJES	47%	6%	47%						
COSTO OPERACIÓN	Z _{1,1}	Z _{2,1}	Z _{3,1}						
\$/TONELADAS	\$ 15.445	\$ 15.445	\$ 15.445						
COSTO INVERSION	Z _{1,2}	Z _{2,2}	Z _{3,2}						
\$/TONELADAS	\$ 5.924	\$ 5.924	\$ 5.924						
COSTO PROVEEDORES	Y _{1,2}	Y _{2,2}	Y _{3,2}						
\$/TONELADAS	\$ 41.840	\$ 34.867	\$ 25.569						
COSTO MATERIA PRIMA	Z _{1,3}	Z _{2,3}	Z _{3,3}						
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000						
								FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	
VALOR FINAL	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}	Z _{4,3} (min)		
COSTOS	\$ 62.943	\$ 21.788	\$ 157.356	\$ 107.728	\$ -	\$ 13.314	\$ 11.231.402.701		
				Restricciones de compra (%)	X _{1,3}	170.671 =	170.671		
					X _{2,3}	21.788 =	21.788		
					X _{3,3}	170.671 =	170.671		
				Restricciones produccion trituradora	X _{1,1} = 26% *X _{4,1}	26% =	26%		
					X _{2,1} = 9* X _{4,1}	9% =	9%		
					X _{3,1} = 65% *X _{4,1}	65% =	65%		
X _{4,1}	242.087	TON/AÑO		Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	X _{4,1} ≥ X _{4,2}	242.087 ≥	121.042		
	20.174	TON/MES							
	807	TON/DIA							
	124	TON/H							

Anexo No. 6 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2024

X _{4,3}	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}	PRONOSTICO 5 AÑOS				
TONELADAS	181.408	23.158	181.408	385.974		TON/AÑO		
PORCENTAJES	47%	6%	47%					
COSTO OPERACIÓN	Z _{1,1}	Z _{2,1}	Z _{3,1}					
\$/TONELADAS	\$ 15.572	\$ 15.572	\$ 15.572					
COSTO INVERSION	Z _{1,2}	Z _{2,2}	Z _{3,2}					
\$/TONELADAS	\$ 5.657	\$ 5.657	\$ 5.657					
COSTO PROVEDORES	Y _{1,2}	Y _{2,2}	Y _{3,2}					
\$/TONELADAS	\$ 43.443	\$ 36.202	\$ 26.548					
COSTO MATERIA PRIMA	Z _{1,3}	Z _{2,3}	Z _{3,3}					
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000					
							FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	
VALOR FINAL	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}	Z _{4,3} (min)	
COSTOS	66.903	23.158	167.256	114.505	-	14.152	\$ 12.099.295.830	
	\$ 26.229	\$ 26.229	\$ 26.229	\$ 43.443	\$ 36.202	\$ 26.548		
				Restricciones de compra (%)	X _{1,3}	181.408 =	181.408	
			X _{2,3}		23.158 =	23.158		
			X _{3,3}		181.408 =	181.408		
			Restricciones produccion trituradora	X _{1,1} = 26%*X _{4,1}	26% =	26%		
				X _{2,1} = 9*X _{4,1}	9% =	9%		
				X _{3,1} = 65%*X _{4,1}	65% =	65%		
X _{4,1}	257.317	TON/AÑO		Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	X _{4,1} ≥ X _{4,2}	257.317 ≥	128.657	
	21.443	TON/MES						
	858	TON/DIA						
	132	TON/H						

Anexo No. 7 Modelo de optimización con base a la proyección de la demanda de materias primas de la planta de concreto del año 2025

$X_{4,3}$	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	PRONOSTICO 5 AÑOS	
TONELADAS	192.144,83	24.529	192.145	408.819	TON/AÑO
PORCENTAJES	47%	6%	47%		

COSTO OPERACIÓN	$Z_{1,1}$	$Z_{2,1}$	$Z_{3,1}$
\$/TONELADAS	\$ 15.771	\$ 15.771	\$ 15.771

COSTO INVERSION	$Z_{1,2}$	$Z_{2,2}$	$Z_{3,2}$
\$/TONELADAS	\$ 5.447	\$ 5.447	\$ 5.447

COSTO PROVEDORES	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$	$Y_{3,2}$
\$/TONELADAS	\$ 45.107	\$ 37.589	\$ 27.565

COSTO MATERIA PRIMA	$Z_{1,3}$	$Z_{2,3}$	$Z_{3,3}$
\$/TONELADAS	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000

								FUNCION OBJETIVO MINIMIZAR COSTO DE LAS GRAVAS PARA LA PLANTA DE CONCRETO	
VALOR FINAL	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$		$Z_{4,3}(\min)$	
COSTOS	\$ 26.218	\$ 26.218	\$ 26.218	\$ 45.107	\$ 37.589	\$ 27.565		\$	13.029.461.904

Restricciones de compra (%)	$X_{1,3}$	192.145 =	192.145
	$X_{2,3}$	24.529 =	24.529
	$X_{3,3}$	192.145 =	192.145

Restricciones produccion trituradora	$X_{1,1} = 26\% * X_{4,1}$	26% =	26%
	$X_{2,1} = 9\% * X_{4,1}$	9% =	9%
	$X_{3,1} = 65\% * X_{4,1}$	65% =	65%

$X_{4,1}$	272.547	TON/AÑO
	22.712	TON/MES
	908	TON/DIA
	140	TON/H

Producción planta triturado mayor que abastecimiento de proveedores	$X_{4,1} \geq X_{4,2}$	272.547 \geq	136.272
---	------------------------	----------------	---------